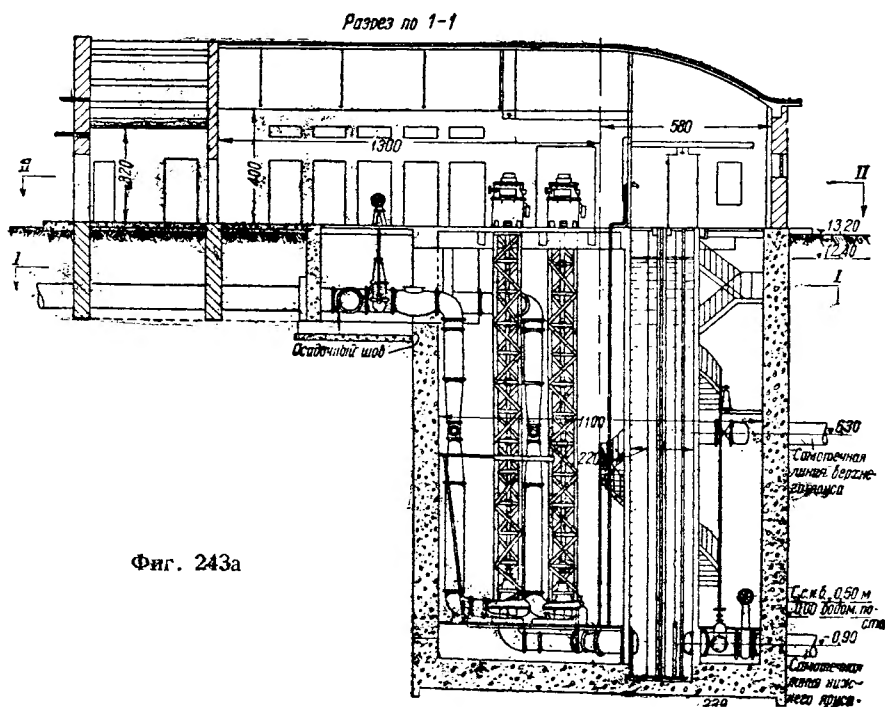
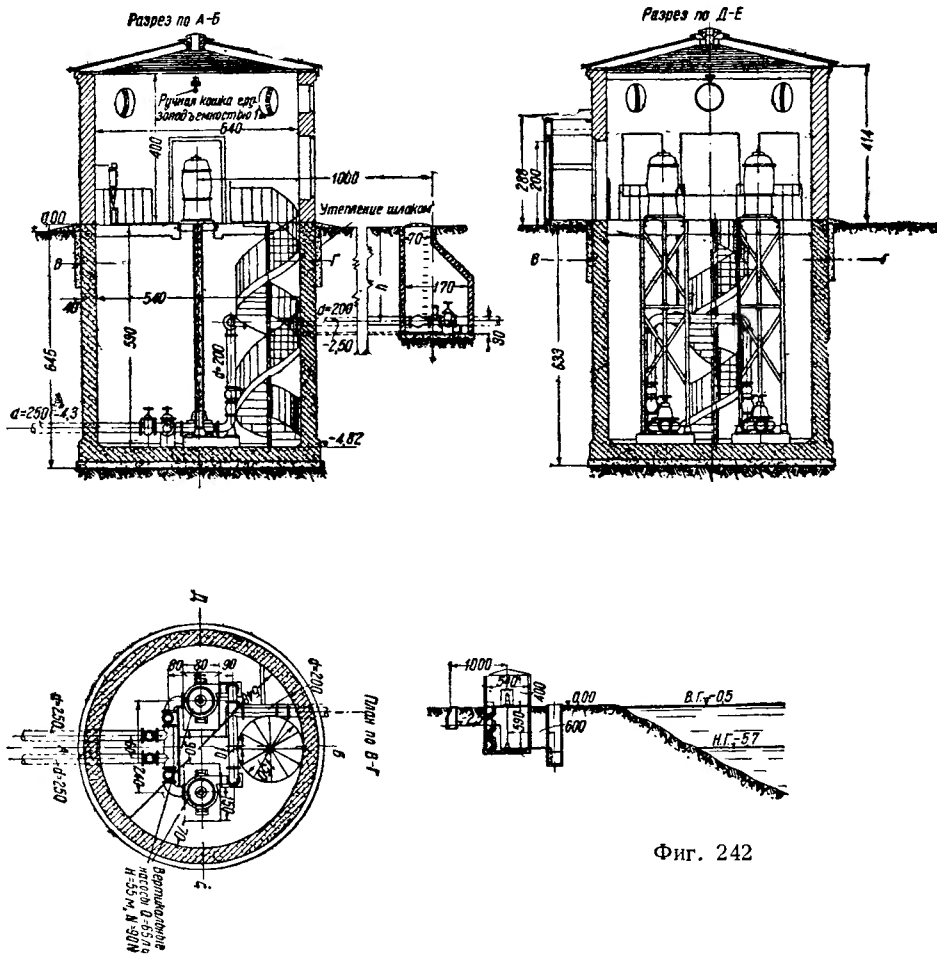


VISIT...

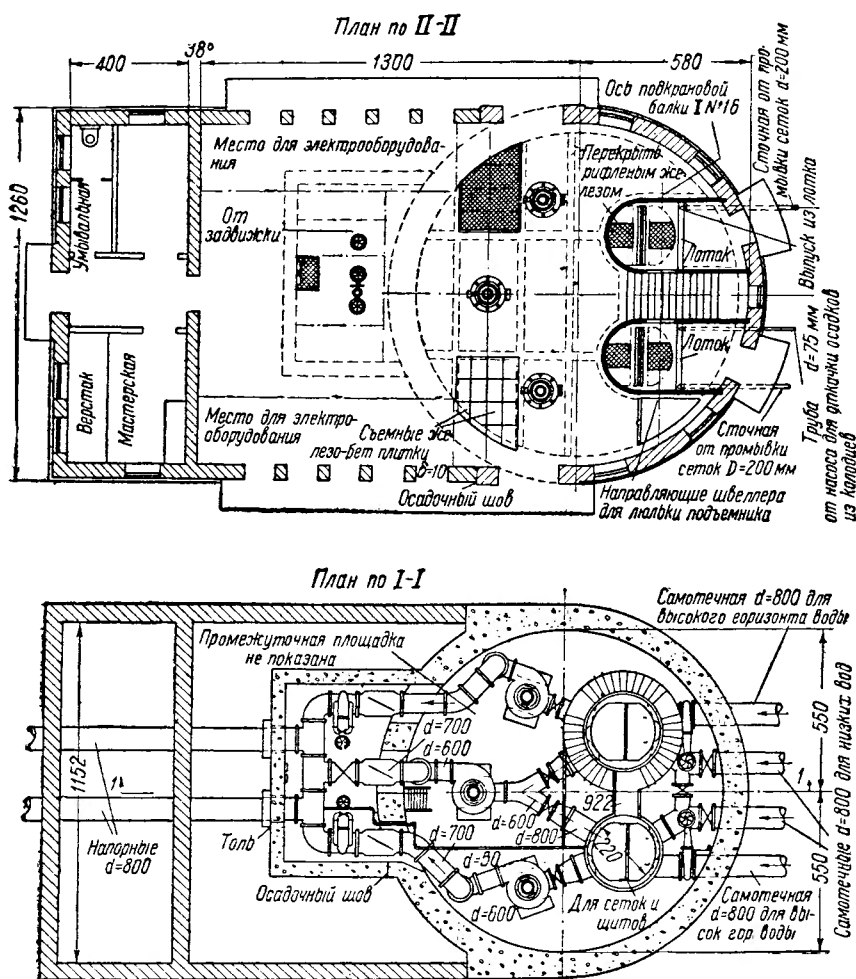
LANZAROTE
Caliente.COM



мотора при демонтаже. Насосы установлены на дне шахты на бетонных фундаментах.

Под потолком укрепляется двутавровая балка, по которой может перемещаться кошка грузоподъемностью 1 т.

На фиг. 243 показана станция с вертикальными агрегатами с несколько необычным решением. Здесь береговой колодец заменен двумя колоннами внутри шахты. Подобная станция согласно данным проектировщиков¹ имеет меньшую строительную стоимость по сравнению со станцией, построенной по обычной схеме, т. е. с отдельным береговым колодцем.



Фиг. 243 в

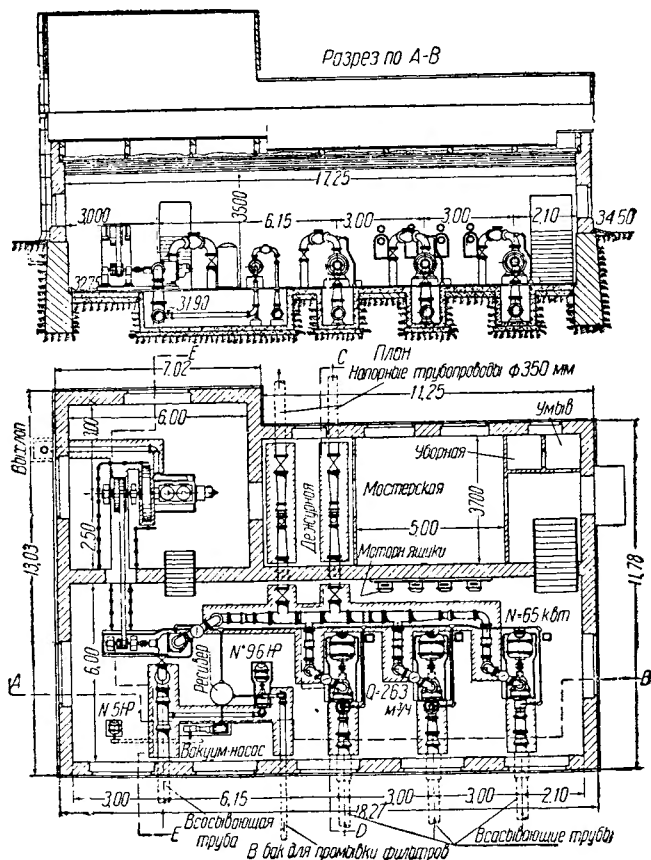
Кроме того, колонны, заменяющие береговой колодец, сооружаются в сухом доступном месте. Осадки из колонны предварительно взмучиваются под напором 6 ат и удаляются специальным песковым насосом. В колоннах предусмотрены поднимающиеся сетки для задержки плавающих предметов и пр.

¹ Журнал «Водоснабжение и санитарная техника» № 5, 1938.

§ 19. Насосные станции со смешанным оборудованием

Станции эти в жел.-дор. водоснабжении встречаются часто, при проектировании новых станций — реже. Они имеют целью обеспечить бесперебойную работу. Вопросы компоновки здесь те же, что и при однородном оборудовании, но принципиально необходимо учитывать особенности того и другого типа оборудования.

К станциям со смешанным оборудованием относятся станции с паровым и нефтемоторным оборудованием, с электрическими двигателями и паросиловой установкой, состоящей из паровых прямодействующих насосов и паровых котлов Шухова и т. д.



Фиг. 244а

На фиг. 244,а и б приведена насосная станция с тремя электронасосами и четвертым центробежным насосом, приводимым в действие от дизеля. На фигуре видны дополнительный насос для подачи воды в бак для промывки фильтров и поршневой вакуум-насос. Эксплуатация смешанного оборудования должна вестись таким образом, чтобы нормально использовать наиболее экономичные и удобные в эксплуатационном отношении двигатели, а в случае нужды перейти на менее экономичные или менее удобные в эксплуатации.

§ 20. Общие соображения к проектированию насосных станций

1. Подсобные помещения при насосных станциях (кроме автоматических) состоят из мастерской площадью 10—15 м² для производства мелких работ, уборной с умывальником и кладовой площадью до 10 м². По местным условиям мастерская может отсутствовать или, наоборот, может быть необходимо помещение для сторожа или охраны. Насосные станции оборудуются внутренним водопроводом для хозяйственно-питьевых и противопожарных целей или хозяйственных и противопожарных целей (техническая вода); в последнем случае питьевая вода для обслуживающего персонала должна доставляться из другого источника.

На насосных станциях устанавливается не менее одного наружного и одного внутреннего пожарных кранов. Насосные станции, находящиеся непосредственно у места забора воды, должны иметь железобетонные непроницаемые выгребы, из которых организуется вывозка нечистот.

Вопросы отопления насосных станций решаются в каждом случае особо. Минимальная температура в помещении не должна быть ниже 12°, максимальная — не выше 25°.

Вопросы отопления насосной станции с электрооборудованием, как уже указывалось, должны решаться с учетом тепла, выделяемого электродвигателями.

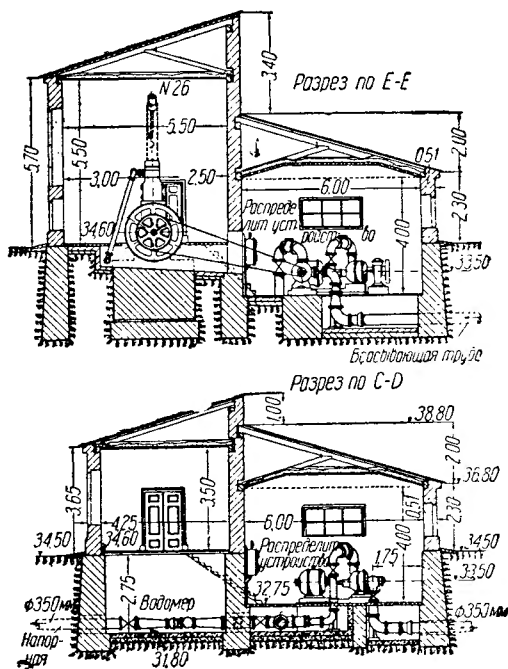
В заглубленных станциях расход тепла через стены весьма мал, поэтому и отопления здесь часто не требуется, зато требуется вентиляция. Отопление небольших станций чаще всего осуществляется устанавливаемыми для этой цели печами.

Освещение насосных станций должно иметь отношение световой площади к площади пола $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{10}$.

На насосных станциях должна быть обеспечена исключительная чистота.

2. Составлению проекта насосной станции предшествует составление проектного задания, разрабатываемого в нескольких вариантах. Последнее представляет собой эскизное решение в масштабе 1 : 100 с показанием основного оборудования и трубопроводов. К пояснительной записке прилагаются сравнительные данные по рассмотренным вариантам.

Технический проект насосной станции предусматривает разработку и показание в плане и разрезе основных размеров здания, фундаментов, насосных установок, каналов и т. п., детализовку трубопроводов, всасывающих линий, арматуры и вспомогательного механического оборудования. В пояснительной записке кроме технико-экономического обоснования выбора типа станции и отдельных ее элементов детально описываются механическая часть (оборудование), подача топлива и пр., а также все вспомогательные приспособления (передачи и пр.), бытовые и вспомогательные помещения и устройства (отопление, вентиляция). В записке приводятся необходимые расчеты насосов, двигателей, трубопроводов, передачи и пр., а также сметные соображения, касающиеся строительства, и эксплуатационная смета, полностью учитывающая стоимость подачи 1 м³ воды или стоимость, отнесенная к 1 000 т.м перекачиваемой воды.



Фиг. 2445

ПРИНЦИПЫ ДЕЙСТВИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ¹**§ 21. Общие сведения и основные понятия**

Автоматизация — передача функций управления технологическим процессом или частью технологического процесса особым аппаратам и приборам.

При достижении известной фазы технологического процесса автоматические приборы получают некоторый импульс и соответственно направляют работу элементов оборудования, участвующих в данном технологическом процессе.

Огромные технико-экономические преимущества работы сооружений при автоматизации привели к ее широкому распространению в самых различных областях транспорта и промышленности как в СССР, так и за границей.

Облегчая труд и повышая его культуру, автоматизация внедрена и в области водоснабжения, главным образом на насосных станциях.

На жел.-дор. транспорте автоматизация занимает большое место, однако, в водоснабжении на жел.-дор. транспорте до сих пор автоматизации не придавалось должного значения, хотя целый ряд станций здесь может быть переведен на автоматическую работу.

Обеспечивая бесперебойность работы насосной станции, а следовательно и бесперебойность снабжения водой, автоматизация приводит:

- 1) к сокращению численности обслуживающего персонала и эксплуатационных расходов;
- 2) к уменьшению габаритов здания насосной станции, так как с уменьшением обслуживающего персонала сокращается или совсем устраняется необходимость в подсобных помещениях, компоновка оборудования возможна в пределах меньшей площади помещения. Вместе с тем само здание упрощается, требуется меньшая освещенность и т. д.;

3) к более рациональному решению в некоторых случаях схемы водоснабжения в целом (схемы многозонального водоснабжения), например одна мощная насосная станция, развивающая излишне большие напоры, иногда может быть заменена системой из нескольких насосных станций, которые могут управляться из одного центрального диспетчерского пункта и обслуживаться одной ремонтной бригадой;

4) к возможности применения часто-прерывистого режима работы насосов, иногда экономически оправдываемого и немыслимого при ручном управлении; часто-прерывистый режим приводит при прочих равных условиях к минимальным размерам водонапорных башен, что имеет экономическое и оборонное значение. Кроме того, при правильном устройстве автоматических станций работа их не зависит от степени внимательности обслуживающего персонала и возможных ошибок при управлении агрегатами.

Возможность аварий на таких станциях может быть значительно меньшей, ибо вспомогательная электрическая аппаратура при появлении причины, могущей вызвать аварию, автоматически выключает агрегаты, сигнализируя об этом на пункт управления и наблюдения. Существовавшие ранее опасения и сомнения в безотказной работе автоматических станций в настоящее время опровергнуты данными их эксплуатации.

В качестве примеров можно сослаться на такие крупнейшие сооружения, как насосные станции канала Москва—Волга производительностью в десятки кубометров в 1 сек., и другие, оборудованные приборами советского производства.

§ 22. Область применения автоматических насосных станций

Отмечая преимущества автоматических насосных станций, следует указать на следующее:

1) автоматизация дает наибольший экономический эффект при наличии в схеме водоснабжения нескольких насосных станций. При наличии лишь одной

¹ Здесь указаны лишь принципы действия автоматических станций. Подробнее см. Тикуннов и др. Автоматические насосные станции, ОНТИ, 1934.

станции эффект этот снижается, так как все же необходимо иметь квалифицированный обслуживающий персонал (на случай аварии). При наличии нескольких станций персонал может находиться на диспетчерском пункте (или на одной из станций) и обслуживать всю группу насосных станций;

2) автоматизация значительно улучшает решение схемы для зонированных водопроводов, со станциями для повышения давления в отдельных частях сети, а также в случае водоснабжения из подземных источников при значительной удаленности отдельных пунктов водозабора друг от друга;

3) в водоснабжении на жел.-дор. транспорте автоматизация должна найти должное применение.

§ 23. Классификация автоматических насосных станций

С точки зрения автоматизации насосные станции можно подразделить на две группы.

К первой группе относятся так называемые частично автоматизированные, или полуавтоматические, насосные станции, управление которыми в той или иной степени осуществляется с участием обслуживающего персонала.

На станциях, где весь процесс управления автоматизирован и лишь первоначальный импульс осуществляется нажатием кнопки, участие обслуживающего персонала ограничено. Однако и эти станции могут быть отнесены к частично автоматизированным.

К этой же группе относятся станции с так называемым телемеханическим управлением. В этом случае управление станцией осуществляется диспетчером из пункта, удаленного на любое расстояние от помещения, в котором установлены насосные агрегаты. Диспетчерский пункт должен быть оборудован всеми приборами, характеризующими работу каждого насосного агрегата.

Телемеханическое управление может осуществляться и при наличии нескольких насосных станций в случаях группового или многозонного водоснабжения. Станции эти еще носят название станций дистанционного управления.

Ко второй группе относятся так называемые полностью автоматизированные станции. Здесь участие обслуживающего персонала в управлении станцией совершенно исключено (кроме периодов осмотра и ремонта механизмов). Пуск и остановка насосов производятся автоматически в зависимости от условий водопотребления; резервный агрегат включается автоматически в случае порчи рабочего насоса.

Соответствующие приборы и сигнализация позволяют диспетчеру следить за работой станций.

В схемах автоматизации станций последнего типа обязательно предусматривается возможность переключения их на полуавтоматическую работу, например на ручной (кнопочный) пуск и остановку агрегатов. Это необходимо для осуществления пробных пусков и испытаний, а также как аварийная мера на случай повреждения части автоматической аппаратуры.

§ 24. Особенности автоматических насосных станций

1. Автоматическими могут быть лишь насосные станции с электрическим оборудованием. Насосные станции с двигателями внутреннего сгорания и паровыми не могут быть автоматизированы.

2. Насосы должны быть непосредственно соединены с электродвигателями. Соединение при помощи ременной передачи в автоматических насосных станциях исключается; поэтому единственным типом насосов для указанных станций является центробежный.

3. Бесперебойное снабжение электроэнергией должно быть гарантировано, ибо в противном случае автоматизация станций теряет всякое значение (необходимы тепловой резерв и обслуживающий персонал). Такой гарантией бесперебойности электроснабжения может служить независимое питание от двух электростанций или двух трансформаторных подстанций или распределительных киосков кольцевой электросети.

4. Автоматизация может быть предусмотрена как для насосов, подающих воду в резервуар (насосы включаются и выключаются в зависимости от уровня воды в резервуаре), так и для насосов, подающих воду непосредственно в сеть (насосы включаются и выключаются в зависимости от давления).

5. Должно быть уделено должное внимание устройству сигнализации на центральный диспетчерский пункт.

§ 25. Принципы технологического процесса управления насосной станцией

Процесс управления насосной станцией в основном заключается в пусках и остановках насосных агрегатов. Оба процесса состоят из ряда операций, идущих в определенной последовательности. Число этих операций и характер их зависят от условий работы станции и ее механического оборудования. Так, например, если отметка оси центробежного насоса выше отметки уровня воды в резервуаре, то для пуска необходимо предварительное заполнение его водой (включение вакуум-насоса). Если отметка оси насоса ниже уровня воды в приемном резервуаре, то операция эта отпадает. В соответствии с числом операций и их характером изменяется схема автоматизации. Так, во втором случае последняя упрощается, уменьшается количество автоматической аппаратуры.

Поэтому на автоматических станциях, где это возможно и экономически целесообразно, следует проектировать ось насосов ниже отметки воды в резервуаре (источнике). Такая возможность чаще может представиться на станциях второго подъема, а при наличии вертикальных насосов это всегда возможно выполнить и на станциях первого подъема.

Обычно процесс пуска насосного агрегата состоит из следующих основных операций:

- 1) включение вакуум-насоса;
- 2) включение электропривода;
- 3) выключение вакуум-насоса;
- 4) открытие напорной задвижки.

Операции должны идти в указанной последовательности; каждая последующая операция возможна при осуществлении предыдущей. Это предъявляет к схеме автоматизации требование взаимной блокировки.

На фиг. 245 приведена одна из схем автоматической работы насосного агрегата.

Первоначальный импульс пуска и остановки дается непосредственно на панель насосного агрегата, например нажатием кнопки (частичная автоматизация), или на панель командо-аппарата (полная автоматизация). Вначале включается вакуум-насос; когда основной насос залит, откачиваемая вода включает струйное реле, которое включает электропривод насоса и выключает вакуум-насос.

Схема включения электропривода зависит от типа мотора и способа его пуска.

Наиболее приемлемыми для установки на автоматических станциях являются короткозамкнутые моторы, ибо применение асинхронных моторов с контактными кольцами требует установки автоматического реостата и работы при постоянно опущенных щетках.

По достижении нормального числа оборотов насос создает давление, включающее реле давления воды; последнее дает импульс к открытию напорной задвижки.

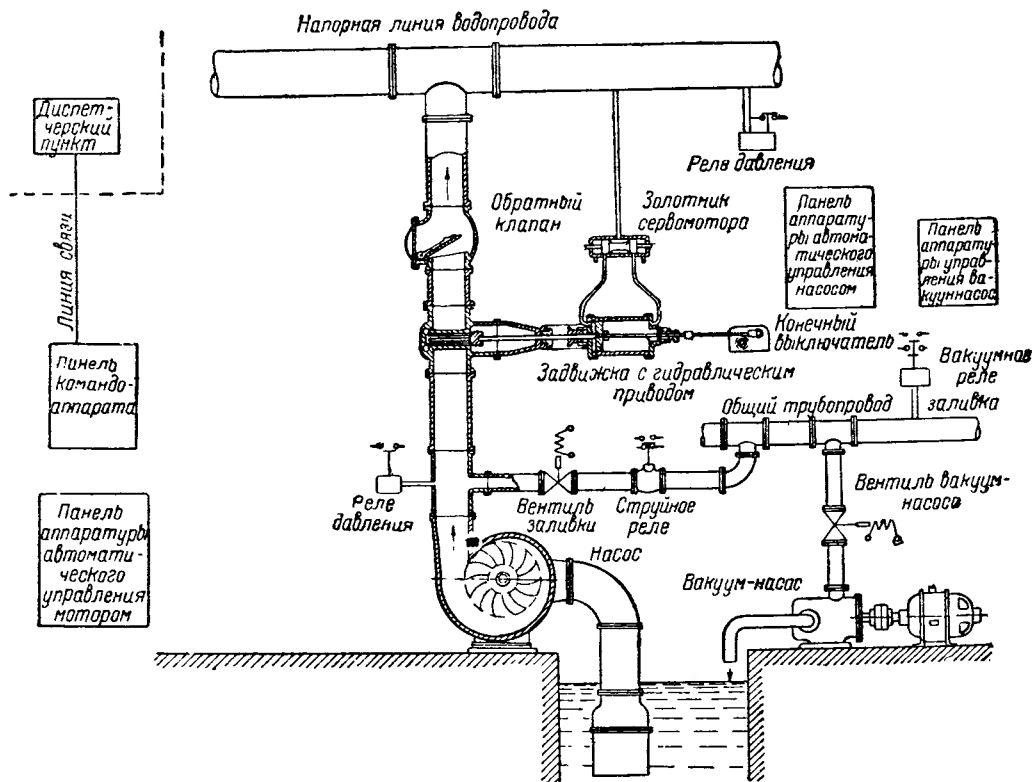
При выключении насоса сначала закрывается задвижка, затем выключается электропривод. Кроме автоматических приборов, управляющих процессами пуска и остановки насосов, насосные станции оборудуются специальными приборами — реле защиты. Последние сигнализируют о ненормальностях в работе (понижение давления, перегрев подшипников и т. д.), автоматически выключают неисправный агрегат и дают импульс к включению резервного агрегата.

В качестве примера приводится последовательность включения насосов на одной из зарубежных полуавтоматических станций.

При пуске нажимается отключающая кнопка; включается вспомогательное реле; главный контакт последнего замыкает цепь удерживающей катушки моторного привода масляного выключателя, вследствие чего включаются масляный выключатель и мотор насоса. Особый контакт масляного выключателя замыкает цепь одного из реле мотора

завдвижки; мотор вращается, открывается задвижка. После открытия задвижки как включающее реле, так и реле задвижки выключаются конечным выключателем задвижки, замыкается цепь сигнальной лампы, указывающей на окончание процесса пуска. Выключение производится нажатием выключающей кнопки; замыкается цепь второго реле мотора задвижки, последний включается в сеть с измененной последовательностью фаз, вращается в обратном направлении и закрывает задвижку.

В конечном положении задвижки нижний конечный выключатель выключает реле и мотор выключается. Тот же конечный выключатель прерывает цепь удерживающей катушки масляного выключателя и отключает масляный выключатель. Включается красная лампа, сигнализирующая об окончании процесса выключения.



Фиг. 245

При перегрузке или коротком замыкании размыкаются особые контакты, разрывается цепь удерживающей катушки масляника и мотор насоса отключается от сети. Отдельные переключения широко блокированы, что гарантирует их правильную последовательность.

Пуск мотора мощностью в 250 кв и всего агрегата происходит в течение нескольких секунд, открытие задвижки — 20 сек. При помощи рубильника все дистанционное управление может быть выключено, одновременно к удерживающей катушке масляного выключателя подводится напряжение, и отдельные агрегаты могут пускаться вручную.

Особый интерес представляет аварийное закрытие гидравлических задвижек при отсутствии напора в напорной линии. Аварийная установка состоит из компрессора, автоматически подающего воздух в небольшой гидроаккумулятор, где все время поддерживается должное давление. В случае аварии в напорной линии трехходовой кран на пульте переключается с напорной линии на гидроаккумулятор; вода поступает к задвижке и закрывает ее. Такое же включение гидроаккумулятора может происходить и автоматически (станция Ашбуртон, США).

§ 26. Приборы автоматических насосных станций

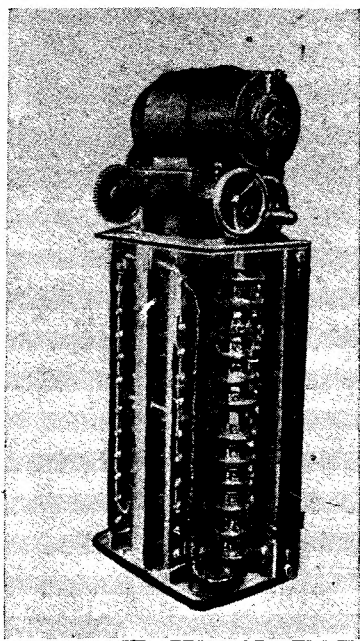
Автоматизация насосных станций вызывает необходимость применения специальной гидромеханической и электромеханической аппаратуры, не имеющей применения на станциях неавтоматических. Эту аппаратуру можно подразделить на три группы.

К первой группе относятся контакторы, т. е. приборы, включающие и выключающие цепь главного тока, например цепь электропривода насоса.

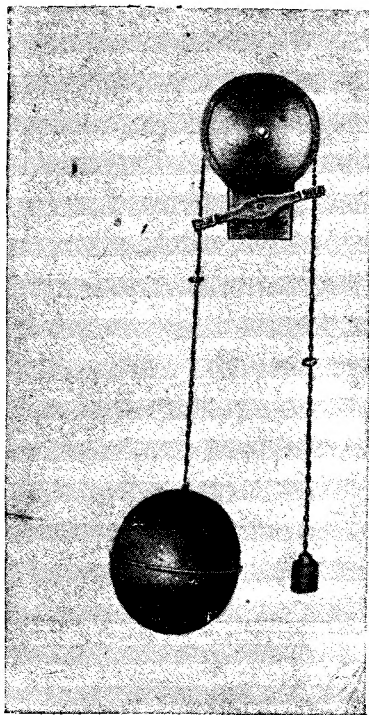
Контакторы производят операции включения и выключения автоматически под влиянием аппаратов, работающих от заданных параметров давления, расхода и уровня воды, а также силы тока, напряжения и т. п. Последние аппараты относятся ко второй группе автоматической аппаратуры и называются реле.

Реле, управляющее процессом при нормальных эксплуатационных условиях, называется реле управления (поплавковое реле, реле давления и т. д.).

Реле, следящее за соблюдением нормальных эксплуатационных условий и нарушением таковых, дающее импульс к отключению неисправной системы и включению резервной, называется реле защиты (реле защиты подшипников при перегреве, реле давления, контролирующее аварийное падение давления, реле перегрузки, реле падения напряжения, реле обрыва фаз).



Фиг. 246



Фиг. 246а

К третьей группе автоматического оборудования относятся аппараты, применяемые главным образом на полностью автоматизированных насосных станциях, это так называемые коммандо-аппараты. Назначение коммандо-аппаратов — включение и выключение электронасосных агрегатов при получении соответствующего импульса в определенной последовательности, заданной обслуживающим персоналом.

На фиг. 246 изображен один из коммандо-аппаратов. При получении импульсов, например, от поплавкового реле или от нажатия кнопки коммандо-аппарат в зависимости от намеченной ранее очередности включает в работу насосные агрегаты.

При завершении процесса пуска одного агрегата, т. е. при полном открытии задвижки на напорном штуцере, коммандо-аппарат выполняет необходимые переключения в схеме для подготовки к пуску следующего агрегата.

На фиг. 246а показано поплавковое реле, служащее для получения первичных командных импульсов пуска и остановки насосных агрегатов в зависимости от уровня воды в резервуаре.

Реле давления применяется для управления и защиты, оно устанавливается на напорных трубопроводах каждого насоса и на напорных водоводах. Реле давления состоит из стальной или бронзовой диафрагмы и контактного устройства, помещенных в закрытой коробке. При достижении определенного давления диафрагма воздействует на контактный механизм и производит переключение контактов.

Вакуумное реле служит для контроля работы вакуум-насоса. Устройство вакуумного реле принципиально аналогично реле давления.

Струйное реле устанавливается на ответвлении трубопровода вакуум-насоса у каждого насосного агрегата и служит для определения момента полного заполнения насоса водой. Оно в основном представляет собой пружинный клапан особого устройства, устанавливаемый на отсасывающей трубе вакуум-насоса. При наличии воздуха в трубе клапан отжат пружиной, оставляя небольшой зазор. Вакуум-насос отсасывает воздух, который свободно проходит через зазор пружинного клапана. Как только вода подойдет к клапану, он захлопывается, преграждая путь воде. Одновременно это передается механизму, который производит размыкание соответствующих контактов, и вакуум-насос выключается.

Для каждого мотора у задвижек обычно предусматривается два включающих реле: одно для вращения по часовой стрелке, другое в обратном направлении.

Концевой выключатель обязателен в схеме управления задвижками с электроприводом (а также для передачи соответствующих импульсов в общей схеме управления насосом).

Когда задвижка приходит в крайнее положение (открытие или закрытие), шток задвижки, соединенный с концевым выключателем, воздействует на механизм последнего, контакты в цепи электропривода размыкаются и мотор останавливается.

Одновременно концевой выключатель замыкает контакты в цепи магнитного пускателя, подготавливая ее для повторения операций открытия или закрытия задвижки. Независимо от указанного открытие и закрытие задвижки должны при желании производиться и вручную при помощи маховичка, насаженного на конец вала.

Примером реле защиты является реле защиты подшипников при перегреве.

Действие реле основано на удлинении биметаллической пластинки. Когда температура подшипников превосходит допустимый предел, пластинка удлиняется настолько, что приводит в действие механизм реле. Действие механизма влечет включение контактов в электрической цепи; имеют место сигнализация об аварийном перегреве подшипников и выключение неисправного агрегата.

Контактор состоит из магнитной системы с катушкой, включенной в цепь малого тока, и подвижного якоря, связанного с валом, на котором находятся контакты.

При прохождении тока через катушку электромагнита якорь, а вместе с ним и вал поворачиваются, включая цепь главного тока. При отключении катушки якорь с валом под действием силы тяжести отходит в исходное положение. Известны станции (Гильфорд, США), где пуск насосов производится автоматически от специальных часов. При этом учитывается и падение давления ниже определенной величины. Если такого падения давления нет, то реле времени включит агрегаты, а реле давления выключит; при значительном падении давления реле давления замыкает соответствующие контакты, прекращает ход часов и включает станцию.

§ 27. Сигнальные устройства

Сигнализация — основной элемент автоматических насосных станций. Электрические схемы сигнализации разнообразны. В одних случаях при прекращении напряжения в сети вспомогательное реле замыкает цепь аккумуляторной батареи и сигнального устройства, в результате в центральном диспетчерском пункте зажигаются сигнальные лампы и начинают гудеть гудки. В других случаях тревож-

ный звонок звонит до тех пор, пока неисправность не будет устранена или звонок не будет выключен.

На многих станциях управление устроено таким образом, что при возникновении неполадок в каком-либо агрегате последний отключается, нагрузка автоматически переключается на другой агрегат, и система дает сигналы о повреждении. Сигналы, снабженные зелеными стеклами, горят при нормальном напряжении во всех фазах; красный сигнал загорается при неполадках на станции.

На некоторых станциях электрическая схема сигнализации позволяет при вызове станции по телефону получить условный звук по коду (в виде точек и тире). Телефонная сигнализация (станция Таусон, США) при неполадках в электрооборудовании дает сигнал «станция не в порядке» и даже сигнализирует дефекты. Сигналы указывают, какой из агрегатов работает в настоящий момент, прибывает или убывает вода в резервуаре и каково давление в напорной линии. Все сигналы даются в определенной последовательности и затем повторяются.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕХНОЛОГИИ ВОДЫ

ГЛАВА I

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ ВОД*

§ 1. Свойства воды

Все природные воды содержат большее или меньшее количество различных примесей. Примеси в воде могут находиться в следующих состояниях (табл. 1):

- 1) в виде механических (грубые дисперсоиды);
- 2) в коллоидальном состоянии (коллоиды);
- 3) в растворе (истинно растворенные вещества).

Таблица 1

Примеси в природных водах

Механические примеси (грубые дисперсоиды)		Коллоидальные вещества		Растворенные вещества ³ (молекулярные дисперсоиды)	
		органические	минеральные	соли	газы
1		2	3	4	5
Плавающие вещества		Гуминовые вещества Масла	Кремневая кислота SiO_2 Окись железа Fe_2O_3 Глина и др.	Двууглекислый кальций (бикарбонат кальция) $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	Углекислота CO_2
Взвешенные вещества				Двууглекислый магний (бикарбонат магния) $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Двууглекислое железо (бикарбонат железа) $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$	Кислород O_2 Азот N_2
Осаждающиеся вещества				Серноокислый кальций (сульфат кальция) CaSO_4	Сероводород H_2S
Органические	Минеральные				
Животные и растительные организмы	Песок, глина и др.				

1. Механическими примесями являются частицы песка, глины и другие продукты размыва почв, вещества растительного и животного происхождения, попадающие в воду со стоками.

В зависимости от удельного веса этих веществ они могут быть подразделены на плавающие, находящиеся на поверхности воды (с удельным весом меньше удельного веса воды), взвешенные (с удельным весом, равным удельному весу воды) и осаждающиеся (с большим удельным весом).

К взвешенным веществам относят и трудно осаждающиеся очень мелкие частицы, удельный вес которых больше удельного веса воды.

Наличие механических примесей в больших количествах делает воду мало пригодной для хозяйственно-бытовых и технических целей.

* Раздел третий написан доц. Е. Ф. Тебенихиным.

2. Коллоидальные примеси¹ могут быть минерального и органического происхождения. К числу первых относятся соединения кремния, алюминия и железа; к числу вторых — продукты разложения остатков растительного происхождения, а именно гуминовые вещества, а также масла и жиры, результат местного загрязнения сточными водами.

Присутствие коллоидальных веществ может обуславливать наличие не оседающей при продолжительном отстаивании мути (коллоидальная глина, кремнезем) или характерную болотную (желтоватую, коричневатую) окраску вод (гуминовые вещества). Наличие этих примесей значительно ухудшает качество воды.

3. К растворенным веществам относятся:

а) газы: кислород O_2 , углекислота CO_2 , сероводород H_2S , метан CH_4 , азот N_2 ; б) неорганические соли: хлористые $CaCl_2$, $MgCl_2$, $NaCl$, сернокислые $CaSO_4$, $MgSO_4$, двууглекислые $Ca(HCO_3)_2$, $Fe(HCO_3)_2$, $NaHCO_3$, кремнекислые $CaSiO_3$, Na_2SiO_3 , азотнокислые $Ca(NO_3)_2$, $NaNO_3$ и др.; со стоками в воду могут попадать минеральные кислоты H_2SO_4 и соединения тяжелых металлов: меди, свинца, цинка;

в) органические соединения — вещества промышленных стоков, например фенолы, крезолы и др.

Газообразные примеси, растворенные в воде (кислород, углекислота и сероводород), служат причиной разрушения металла.

Влияние растворенных солей различно: некоторые из них ($MgCl_2$, $NaCl$, $MgSO_4$) обуславливают коррозию металла, делают воду соленой ($NaCl$), другие способствуют вспениванию котловой воды (Na_2SO_4 , $NaHCO_3$, Na_2CO_3), образуют твердые отложения накипи ($CaSO_4$, $Ca(HCO_3)_2$) и т. д.

Большее или меньшее количество указанных примесей позволяет судить о возможности применения воды для целей водоснабжения, а также о влиянии ее на паровозные котлы в смысле образования накипи, вспенивания и коррозии.

В табл. 2 приведены главнейшие свойства примесей воды в отношении влияния их на паровозные котлы и некоторые методы обработки воды для устранения этих примесей.

§ 2. Характеристика источников водоснабжения на жел.-дор. транспорте

Воды источников в основном отражают геологические формации, через которые эти воды протекают, и некоторые местные условия.

Источники водоснабжения северных районов СССР, преимущественно реки и частично озера, характеризуются низкой жесткостью (4 — 10 нем. гр.), небольшим содержанием солей и в зависимости от местных условий (болота, торфяники) большим или меньшим количеством гуминовых веществ.

По мере перехода в центральные области качество воды изменяется. Жесткость воды чаще возрастает до 15 — 25 нем. гр. Количество гуминовых веществ уменьшается.

К югу качество воды заметно ухудшается, что объясняется появлением в почве гипсовых и меловых отложений, местами в очень больших количествах (Белгород, Славянск и др.).

Растворяя гипс и мел, вода обогащается ими; при этом жесткость воды часто повышается до 30 — 60 нем. гр., а в некоторых случаях составляет 100 нем. гр. и выше. Количество растворенных солей возрастает до 1 000 мг/л, а в некоторых случаях и выше.

Среди вод Северного Кавказа наряду с жесткими (17 — 30 нем. гр.) встречаются мягкие воды — щелочные и сероводородные.

Источники водоснабжения в Закавказье, питающиеся в большинстве случаев тающими с гор снегами, характеризуются незначительным содержанием растворимых солей и небольшой жесткостью (6 — 10 нем. гр.). Речные воды здесь обычно содержат большое количество механических примесей за счет размыва почв вследствие большой скорости течения.

¹ Коллоидальные примеси — вещества с размером частиц 0,0001 — 0,000001 мм.

Таблица 2

Наименование примесей	Химическое обозначение	Главнейшие свойства			Метод обработки воды для удаления примесей
		накипобразование	коррозия металла	вспенивание котловой воды	
1	2	3	4	5	6
Кислород	O ₂	—	+	—	Дегазация
Углекислота	CO ₂	—	+	—	»
Сероводород	H ₂ S	—	+	—	Аэрация
Двууглекислый кальций (бикарбонат кальция)	Ca(HCO ₃) ₂	+	—	—	Умягчение
Двууглекислый магний (бикарбонат магния)	Mg(HCO ₃) ₂	+	—	—	»
Двууглекислое железо (бикарбонат железа)	Fe(HCO ₃) ₂	+	—	—	Обезжелезивание
Сернокислый кальций (сульфат кальция)	CaSO ₄	+	—	—	Умягчение
Сернокислый магний (сульфат магния)	MgSO ₄	—	+	—	»
Кремнекислый магний (силикат магния)	MgSiO ₃	+	—	—	»
Кремнекислый кальций (силикат кальция)	CaSiO ₃	+	—	—	»
Хлористый кальций (хлорид кальция)	CaCl ₂	—	+	—	»
Хлористый магний (хлорид магния)	MgCl ₂	—	+	—	»
Азотнокислый кальций (нитрат кальция)	Ca(NO ₃) ₂	—	—	—	»
Азотнокислый магний (нитрат магния)	Mg(NO ₃) ₂	—	—	—	»
Углекислый натрий (карбонат натрия)	Na ₂ CO ₃	—	*	+	Опреснение
Двууглекислый натрий (бикарбонат натрия)	NaHCO ₃	—	*	+	»
Сернокислый натрий (сульфат натрия)	Na ₂ SO ₄	—	—	÷	»
Хлористый натрий (хлорид натрия)	NaCl	—	+	—	»
Продукты разложения растительных и животных организмов	—	—	+	+	Коагуляция
Масла	—	—	+	+	»
Минеральные кислоты	—	—	+	—	Угольные фильтры Нейтрализация
Взвешенные вещества	—	+	—	+	{ Коагуляция, отстаивание и фильтрация

Юго-западная область характеризуется преимущественно водами средней жесткости (12 — 19 нем. гр.).

Источники водоснабжения юго-восточной части Союза, с одной стороны, характеризуются сравнительно мягкими щелочными водами, с другой, — жесткими (30 — 40 нем. гр.) и солончаковыми. Последние сосредоточены главным образом в районе Каспийского и Аральского морей.

Воды Западной и Восточной Сибири совмещают в себе почти все свойства вод Европейской части СССР.

* Коррозия медных частей и каустическая хрупкость при больших концентрациях.

§ 3. Требования, предъявляемые к воде

А. ВОДА ДЛЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВЫХ НУЖД

Вода для хозяйственно-питьевых нужд должна удовлетворять санитарным требованиям, т. е. она должна быть свободна от вредных для человеческого организма примесей и болезнетворных бактерий, должна быть совершенно прозрачной и бесцветной, без запаха и иметь хороший освежающий вкус.

Современные требования к качеству питьевых вод в основном сводятся к следующему.

Мутность не выше 0,75 мг/л (по мутномеру Бейлиса)
Цветность не выше 25° (по платиново-кобальтовой шкале)
Сухой остаток не выше 500 мг/л
Железо Fe не выше 0,3 мг/л
Сульфаты SO_3 не выше 200,0 мг/л в форме Na_2SO_4
Нитраты N_2O_5 » » 15,0 » (при отсутствии нитратов и аммиака)
Нитриты N_2O_3 » » 0
Аммиак NH_3 » » 0
Органические вещества KMnO_4 не выше 12,0 мг/л (проба на окисляемость)

Количество колоний: в 1 см³ не выше 75* (посев на мясо-пептонном желатине $t^\circ 20 - 23^\circ\text{C}$, 48 час.). Коли-титр более 300.

Б. ВОДА ДЛЯ ПИТАНИЯ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Требования к каждой питательной воде в основном сводятся к возможно низкому содержанию в ней солей, главным образом накипеобразователей, газов и механических примесей.

В зависимости от типа котла и рабочего давления пара питательной водой может служить:

- 1) природная вода определенного качества;
- 2) умягченная вода;
- 3) конденсат (турбин, паровых машин и пр.) или смесь конденсата с умягченной водой.

1. Природная вода

Для мощных паровозов (ФД и ИС) согласно данным НКПС вода допускается с общей жесткостью не выше 10 нем. гр., для паровозов СО,Э и менее мощных — не выше 15°. Все более жесткие воды должны подвергаться умягчению.

Содержание механических примесей для мощных паровозов не выше 200 мг/л, для остальных — не выше 400 мг/л.

2. Умягченная вода

Вода, умягченная известково-содовым способом, должна отвечать следующим требованиям: общая жесткость не выше 4 нем. гр., при щелочности 6 — 7 нем. гр., при умягчении без подогрева и при умягчении с подогревом до 80° — 1 нем. гр., при щелочности 3—4 нем. гр.; при этом вода должна быть совершенно прозрачной. Вода, умягченная на цеолитовых фильтрах, не должна иметь жесткость выше 0,1 — 0,15 нем. гр.

3. Конденсат

Жесткость не выше 0,1 нем. гр., плотный остаток 10 — 12 мг/л.

4. Общие требования к питательной воде

Жесткость питательной воды для котлов низкого давления — до 15 ат не выше 1—4 нем. гр. Для котлов с более высоким давлением 0,3—0,1 нем. гр. Допустимое содержание кислорода (после дегазации)

Рабочее давление в котле в атм	Содержание кислорода в мг/л
1—15	Не выше 0,5
15—25	» » 0,1
25—50	» » 0,05

* Это требование несколько условно.

Вода должна быть совершенно прозрачна и свободна от масла. Содержание органических веществ не выше 20 мг/л по перманганату.

В. ВОДА ДЛЯ ПИТАНИЯ ИСПАРИТЕЛЕЙ (ОПРЕСНИТЕЛЕЙ)

К воде для питания испарителей предъявляются те же требования, что и для котлов низкого давления.

Г. ВОДА ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И КОНДЕНСАТОРОВ

Вода, применяемая для охлаждения, должна быть свободна от механических примесей и иметь минимальную карбонатную жесткость.

При охлаждении конденсаторов турбин необходимо также, чтобы в воде отсутствовали микрофауна¹ и микрофлора², обуславливающие зарастание трубок конденсаторов.

Применение прямоточной системы, т. е. однократное использование воды для охлаждения, без предварительного умягчения охлаждающей воды, по данным Штумпера, возможно лишь в том случае, когда карбонатная жесткость воды не выше 10 нем. гр.; при большей жесткости неизбежна циркуляционная система охлаждения с добавкой умягченной воды, восполняющей потерю.

§ 4. Исследования воды. Физико-химический анализ

А. ОТБОР ПРОБ

Проба воды, взятая для анализа, должна отражать действительный средний состав воды, т. е. не быть случайной, например взятой у самого берега, из долго не работавшей и предварительно не промытой трубы, из скважины без предварительной откачки и т. п. Для полной характеристики воды источника следует взять несколько проб в наиболее характерные для него моменты года.

Для полного технического анализа берут 3—4 л воды, для сокращенного — 1 л.

Склянка для отбора проб должна быть чисто вымыта и ополоснута отбираемой водой.

Для отбора проб с различных глубин служат специальные приборы, называемые батометрами. В отсутствии их пользуются склянкой емкостью 3—4 л, заключенной в металлическую оправу с тяжелым дном, залитым свинцом, с каучуковой пробкой, привязанной к шнуру, которым склянка открывается на нужной глубине.

При обследовании водоема пробы воды берут в месте предполагаемого водозабора и иных обследуемых местах. При решении различных специальных вопросов, как то: о распределении солей в водоемах, о смешении естественных вод со стоками и пр., пробы берут с различных мест и глубин.

При взятии пробы из водопроводных кранов воду предварительно спускают в течение нескольких минут (5—10).

При отборе проб воды непосредственно из буровых скважин производят предварительную откачку (5—10 мин.).

Склянки закупоривают каучуковыми или стеклянными пробками, а при отсутствии таковых — корковыми.

К каждой пробе прилагается сопроводительный бланк с следующими сведениями:

- 1) род и название источника,
- 2) местонахождение источника,
- 3) дата взятия пробы,
- 4) глубина и место отбора пробы,
- 5) способ отбора пробы,
- 6) температура воды в момент отбора,
- 7) температура воздуха в момент отбора,
- 8) состояние погоды за 5 дней до взятия пробы и в момент отбора,
- 9) фамилия лица, отобравшего пробу.

Пересылка проб зимой должна производиться в условиях, исключающих замерзание воды.

Исследования газов (кислород, уголекислота и сероводород) рекомендуется производить на месте. При отсутствии этой возможности в отношении некоторых из газов поступают согласно специальным указаниям.

¹ Микрофауна — микроскопические животные организмы.

² Микрофлора — микроскопические растительные организмы.

При санитарном исследовании воды некоторые определения также целесообразнее производить у источника, как то: определение физических свойств воды, реакции воды, азот содержащих веществ, окисляемости и железа.

Анализ у источника обычно производится при помощи походных лабораторий. Такие лаборатории полезны при изысканиях, при контроле работы водоумягчителей и при внутрикотловой обработке воды. Более подробный анализ воды производится в стационарных лабораториях — в дорожных и деповских.

Б. СХЕМА И ЗАПИСЬ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА

Результаты анализа могут быть записаны в форме ангидридов кислот, например SO_3 , N_2O_3 , N_2O_5 , и в виде безводных окислов металлов CaO , MgO , Na_2O , или в ионной форме в виде катионов (металлы) Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ и анионов (кислотные остатки) NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{--} ;

Количество найденных веществ выражают в миллиграммах на литр.

В последнее время получает распространение запись результатов анализов в миллиграмм-эквивалентах соответствующих анионов и катионов (за исключением газов и коллоидных примесей).

Чтобы найти число миллиграмм-эквивалентов того или иного иона, необходимо количество миллиграммов его, найденное анализом, разделить на величину эквивалента данного иона.

Различают полный и сокращенный анализ воды. При сокращенном анализе ограничиваются лишь некоторыми определениями в зависимости от назначения анализа. Форма записи результатов полного анализа приводится ниже.

Анализ воды ¹

1. Общие сведения

1. Пункт водоснабжения
2. Род и название источника
3. Место отбора пробы воды
4. Характеристика источника у места отбора (наличие стоков и пр.)
5. Дата отбора пробы воды
6. Дата начала анализа

2. Физические свойства воды

1. Цветность в градусах платиново-кобальтовой шкалы
2. Прозрачность по Снеллену в см
3. Осадок
4. Запах
5. Вкус
6. Температура воды ²
7. Взвешенные вещества при 110° мг/л
8. Взвешенные вещества после прокаливания мг/л

3. Химические свойства и состав воды

(данные анализа в мг/л)

1. Реакция pH
2. Сухой остаток при 110°
3. Сухой остаток после прокаливания
4. Потери при прокаливании
5. Окись кальция CaO
6. Окись магния MgO
7. Серный ангидрид SO_3
8. Хлор Cl
9. Азотный ангидрид N_2O_5
10. Азотистый ангидрид N_2O_3
11. Аммиак NH_3
12. Сероводород H_2S
13. Кислород O_2
14. Углекислота свободная CO_2
15. Углекислота агрессивная CO_2

¹ При санитарном исследовании анализ дополняется данными бактериологического анализа.

² На месте при отборе пробы.

16. Окись железа и алюминия $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$	
17. Железо Fe	
18. Кремнекислота SiO_2	
19. Окисляемость KMnO_4	
20. Щелочность в cm^3 0,1 NHCl на 100 cm^3	
21. Гуматы	
22. Жесткость в немецких градусах	
общая	
постоянная	
устраняемая	

4. Заключение о пригодности воды

.....

Аналитик

Зав. лабораторией

В. МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВОДЫ

Физические свойства

1. Цветность обуславливается главным образом присутствием гуминовых веществ, придающих воде желтоватый и желто-коричневый оттенки. Определяется сравнением цвета фильтрованной воды с окраской эталонов платиново-кобальтовой шкалы и выражается в градусах цветности. 1° цветности соответствует содержанию в 1 л воды 1 мг металлической платины.

Цветность большинства природных вод составляет 15 — 25°, за исключением гуминовых, цветность которых 50 — 60°.

Качественно цветность фиксируется описательно (желтоватая, желтовато-зеленоватая, желтая и т. д.).

2. Прозрачность служит косвенной мерой содержания в воде механических примесей (мути). Определяется в специальном цилиндре с прозрачным дном и выражается высотой столба воды в сантиметрах, через который возможно чтение шрифта определенной крупности (Снеллена № 1). Иногда шрифт Снеллена заменяют крестом, изображенным черными линиями толщиной 1 мм на белой пластинке.

Норма прозрачности питьевой воды до последнего времени считалась по Снеллену выше 30 см, по кресту — 100 см.

Более точные данные могут быть получены при сравнении испытуемой воды с американской шкалой мутности. За такой стандарт мутности принимается вода, замутненная размещиванием в 1 л ее 100 мг кремния, измельченного настолько, что блестящая горизонтальная платиновая игла длиной 25 мм и диаметром 1 мм, будучи рассматриваема с высоты 1,2 м, перестает быть видной на глубине 100 мм от поверхности воды.

Мутность такого стандарта принята равной 100 мг. Разбавляя дистиллированной водой в два, четыре и т. д. раз, получим образцы с мутностью 50 — 25 мг. Наоборот, увеличивая содержание кремния до 200—300 мг и т. д., получим образцы мутностью в 200, 300 мг/л и т. д.

В лабораториях и на сооружениях по обработке воды применяется прибор Бейлиса для определения мутности.

3. Запах может зависеть от минерального состава воды, продуктов жизнедеятельности микроорганизмов и загрязнений различного вида стоками.

При хлорировании воды избыток хлора в 0,2 — 0,3 мг/л дает себя чувствовать.

При одновременном присутствии в воде фенола даже в ничтожных количествах (0,000001 г/л) вода приобретает очень неприятный запах хлорфенола.

Гуминовые воды могут пахнуть перегноем.

Определение запаха производят при комнатной температуре и нагревании.

Запах характеризуют следующим образом: землистый, рыбный, свободного хлора, сероводородный, затхлый, плесени, болотный.

4. Вкус обуславливается содержанием минеральных примесей и органических веществ.

Клют приводит данные в отношении некоторых примесей воды, которые даны в табл. 3.

Таблица 3

Вещества	Привкус	Граница ощущения в мг/л	Граница вкусовой пригодности воды в мг/л
NaCl	Соленый	165	660
MgCl ₂	Горьковатый	135	535
MgSO ₄	»	250	750
Fe	Вяжущий	0,15	—

5. Температура воды. Температура в градусах Цельсия измеряется в самом источнике термометром, помещенным в склянке для отбора воды, или погружением его в пробу тотчас же по отборе.

6. Взвешенные вещества могут быть минерального (глина, песок, железо) и органического (остатки растений и животных) происхождения. Количество их определяют при фильтрации 1 — 0,5 л воды через фильтр.

Увеличение веса фильтра после высушивания при 110° дает общее содержание взвеси. Для определения минеральной части осадок с фильтром прокаливает. Результаты выражают в миллиграммах на литр.

Химические свойства

1. Реакция воды характеризует щелочные, нейтральные и кислотные свойства воды и определяется качественно и количественно. Качественно — при помощи индикаторов, количественно — по концентрации водородных ионов (активная реакция).

Индикаторами служат лакмус, фенолфталеин и метилоранж.

Изменения окрасок индикаторов в зависимости от реакции воды показаны в табл. 4.

Таблица 4

Индикаторы	Окраска		
	Нейтральная реакция	Кислая реакция	Щелочная реакция
Лакмус	синий	Синяя	Розовая
	красный	Синяя	Светлосиняя
Фенолфталеин	Бесцветная	Бесцветная	Фиолетово-красная
Метилоранж	Золотисто-желтая	Оранжевая	Желтая

Химически чистая вода в весьма незначительной степени диссоциирована на водородные и гидроксильные ионы H^+ и OH^- .

В 1 л этой воды содержится 10^{-7} (0,0000001) г ионов водорода $[H^+]$.

С увеличением количества водородных ионов и уменьшением гидроксильных вода приобретает кислотные свойства, с уменьшением — щелочные.

По предложению Зеренсена концентрация водородных ионов выражается не в виде цифры 10 с отрицательным показателем, а в виде показателя степени без знака минус, который назван «водородным показателем» и обозначается рН.

Таким образом, если $[H^+] = 10^{-7}$, то $pH = 7$, и выражение активной реакции нейтральных, кислых и щелочных растворов принимает следующий вид:

Кислая реакция—рН меньше 7
Нейтральная реакция—рН равно 7
Щелочная реакция—рН больше 7

При практической оценке воды могут быть приняты следующие значения рН:

рН больше 10,0—вода сильнощелочная
рН от 8,0 до 10,0—слабощелочная
рН от 6,5 до 8,0—нейтральная
рН от 5,5 до 6,5—слабокислая
рН ниже 5,5—сильнокислая

Согласно современному учению о растворах природная (пресная) вода представляет слабый раствор электролитов (главным образом солей), диссоциированных на ионы, положительно заряженные катионы и отрицательно заряженные анионы.

Из положительных ионов в естественных водах встречаются: Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Fe^{++} , H^+ и некоторые другие, из отрицательных: HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{--} , SiO_3^{--} , OH^- и др.

Реакция водных растворов солей в основном зависит от состава и свойств этих солей. Так, хлористый магний, являющийся солью сильной хлористоводородной кислоты и слабого основания $Mg(OH)_2$, обуславливает кислую реакцию воды, углекислый натрий как составленный слабой угольной кислотой и сильным основанием $NaOH$ —щелочную.

В первом случае мы имеем избыток водородных ионов, во втором — гидроксильных.

Каждая естественная вода представляет смесь растворов солей слабых концентраций, обладающих разным значением рН. От преобладания той или иной соли или группы однородных солей в воде рН приобретает соответствующее значение.

Для большинства природных вод рН составляет от 7,2 до 7,8.

Концентрация водородных ионов обуславливает направление и интенсивность большинства физико-химических процессов как совершающихся в водоемах, так и в очистных сооружениях и паровых котлах.

Концентрация водородных ионов определяется одним из двух методов: электрометрическим или калориметрическим (по методу Михаэлиса). Первый довольно сложен и требует лабораторных условий; второй — значительно проще и может быть выполнен в любых условиях.

2. Щелочность воды, или способность примесей ее связывать кислоты, выражается количеством куб. сантиметров 0,1 нормальной кислоты, которая идет на нейтрализацию находящихся в воде щелочноземельных и щелочных металлов, связанных со слабыми кислотами, главным образом с угольной и гуминовой, а также и оснований (умягченные, сточные и котловые воды).

Щелочность определяется титрованием 100 см³ исследуемой воды 0,1 нормальной соляной кислотой.

При наличии окраски с индикатором фенолфталеином сначала титруют с этим индикатором, а затем дотитровывают с метилоранжем.

3. Г у м а т ы. Соли гуминовых кислот встречаются в водах болот, рек, придавая воде характерную коричневато-буроватую окраску различной интенсив-

ности. Для определения гуматов пробу воды после нейтрализации соляной кислотой с индикатором метилоранжем кипятят 3—5 мин. (для удаления углекислоты), быстро охлаждают, прибавляют 2—3 капли фенолфталеина и титруют 0,1 нормальным едким натром до появления слабого, но ясно выраженного розового окрашивания, не исчезающего в течение 1 мин.

Расход едкого натра на 100 см³ воды дает содержание гуматов.

4. Сухой или плотный остаток характеризует общее количество растворенных в воде минеральных и органических веществ. Определяется выпариванием 1—0,5 л воды с последующим высушиванием полученного остатка при 110°. Минеральная часть определяется прокаливанием до полного сжигания органических веществ. Потеря веса при прокаливании дает количество органических веществ.

5. Окисляемость служит для определения содержания в воде органических веществ. Определение основано на том, что кислый или щелочной раствор перманганата способен отдавать кислород в присутствии окисляющихся веществ. В кислом растворе перманганат переходит в сернокислый марганец и обесцвечивается:



По расходу перманганата судят о содержании веществ, способных окисляться.

Окисляемость воды определяется как в фильтрованной, так и в нефильтрованной пробе. В последней она характеризует общее содержание органических веществ как в растворе, так и в взвеси.

Для выражения результатов окисляемости по перманганату расход его в куб. сантиметрах умножают на 0,316 (1 см³ 0,01 нормального раствора перманганата содержит 0,316 мг KMnO₄); для выражения окисляемости по кислороду (применяется реже) — умножают на 0,08 (1 см³ 0,01 раствора перманганата соответствует 0,08 мг кислорода).

При пересчете данных с кислорода на перманганат служит коэффициент 3,95. Анализ сильно загрязненных вод производят в объеме 10—25 см³, разбавленных до 100 см³ дистиллированной водой, свободной от органических веществ.

При содержании хлора выше 300 мг/л во избежание влияния последнего на ход процесса (вытеснение хлора серной кислотой и обесцвечивание перманганата) испытуемую воду разбавляют дистиллированной водой.

В присутствии в воде солей закиси железа и сероводорода, восстанавливающих перманганат, отдельную пробу воды титруют перманганатом на холоду и полученную цифру вычитают из результатов анализа. Сероводород также можно удалить осаждением азотнокислым кальцием.

6. Хлориды Cl могут быть минерального и органического происхождения. Определяются в виде хлор-иона.

Качественно — с азотнокислым серебром (5%) в присутствии нескольких капель концентрированной азотной кислоты.

Количественно — по методу Мора, титрованием 100 см³ воды раствором азотнокислого серебра, 1 см³ которого соответствует 1 мг хлора, при индикаторе хромовокислом калии K₂CrO₄. Моментом окончания реакции служит переход зеленоватой окраски жидкости в буроватый тон. Результат выражается в миллиграммах на литр.

Определение хлора нужно производить в прозрачной и бесцветной воде. При наличии окраски воду встряхивают с активированным углем или гидроокисью алюминия, фильтруют и затем подвергают анализу.

При содержании щелочей (розовая окраска с фенолфталеином) воду предварительно нейтрализуют раствором азотной кислоты до уничтожения розовой окраски.

Воды с большим содержанием хлора (выше 100 мг/л — солончаковые, котловые) разбавляют в 5—10 раз дистиллированной водой.

7. Сульфаты SO₃ могут быть минерального и органического происхождения. Сульфаты в виде солей кальция (гипс) обуславливают постоянную, наиболее опасную жесткость воды. Сульфат натрия (глауберова соль) в больших количествах (выше 200 мг/л по SO₃) влияет на желудок и кишечник человека.

Значительное содержание в воде сульфатов примерно выше 300 мг/л может обуславливать разрушение бетона (Клют).

Качественно сульфаты определяются хлористым барием (5%) в присутствии нескольких капель концентрированной соляной кислоты.

8. Аммиак NH_3 может быть органического и минерального происхождения. Присутствие аммиака органического происхождения (белкового) является одним из признаков загрязнения воды разлагающимися органическими веществами, содержащими азот. Попадая в воду, органические вещества под влиянием микроорганизмов и кислорода подвергаются минерализации, причем первой стадией разложения является аммиак, затем азотистая и, наконец, азотная кислоты. Поэтому в естественной воде только в редких случаях находится какое-нибудь одно из указанных веществ, а если это и бывает, то обыкновенно встречается азотная кислота как продукт окончательной минерализации азотосодержащих веществ.

Наличие в воде аммиака свидетельствует о свежем загрязнении, азотистой кислоты (нитритов) о недавнем, азотной (нитратов) — о бывшем загрязнении органическими веществами.

Наличие аммиака минерального происхождения (солевой аммиак) в водах, свободных от органических загрязнений, может обуславливаться процессом восстановления азотнокислых солей при взаимодействии их с гуминовыми веществами или с сернистыми соединениями.

Воды, содержащие аммиак органического происхождения, для питьевых целей без предварительного обезвреживания не пригодны. В паровозных котлах такие воды могут обуславливать вспенивание и разъедание медных частей.

NH_3 определяется реактивом Несслера (бурая окраска) или по посинению красной лакмусовой бумажки, опущенной в пары нагреваемой пробы.

9. Нитриты N_2O_3 . Присутствие соединений азотистой кислоты в значительных количествах указывает на более или менее значительный и притом начальный процесс минерализации беспрерывно поступающих в воду органических веществ.

Нитриты являются крайне нестойким соединением. Наличие их заставляет считать воду подозрительной в санитарном отношении, но при этом необходимо учитывать, что и совершенно безупречные воды иногда содержат следы нитритов, каковые появляются, так же как и солевой аммиак, за счет восстановительных процессов. Поэтому вопрос об их происхождении, так же как и аммиака, следует решать по общему состоянию исследуемой воды.

N_2O_3 определяется реактивом Грисса (розовая окраска).

10. Нитраты N_2O_5 могут быть минерального и органического происхождения. Являются конечным продуктом окисления азотосодержащих веществ. При содержании в почве селитры содержание нитратов в воде за счет выщелачивания может достигать 20 — 30 мг/л.

Определяются бруцином (розовая окраска) или дифениламином (синее окрашивание); второй указывает одновременно и на присутствие нитритов, вследствие чего не является характерным реактивом.

11. Сероводород H_2S может быть и минерального и органического происхождения. Содержащиеся в водах болотистого происхождения гуминовые вещества и микроорганизмы могут восстанавливать сернокислые соли до сероводорода. Сероводород, образовавшийся при гниении органических белковых веществ, всегда будет сопровождаться и другими показателями загрязнения; наличие его в подобных случаях служит признаком сильного загрязнения воды. Сероводород ядовит.

Большинство металлов, а также известковые растворы и бетон разрушаются сероводородом. Вода, содержащая сероводород, без предварительной обработки для питьевых и технических целей не пригодна.

Присутствие сероводорода может быть определено по запаху и химическим путем. Испытание необходимо производить на месте взятия пробы, так как при пересылке пробы сероводород быстро теряется и количество его оказывается уменьшенным. Эта потеря основана на летучести и легкой окисляемости сероводорода с выделением свободной серы (сопровождается помутнением воды).

Химическое определение производится при помощи свинцовой бумажки (фильтровальная бумажка, пропитанная щелочным раствором уксуснокислого свинца и смоченная дистиллированной водой), которая зажимается в горле бутылки или вставляется в отверстие стеклянной трубочки в пробке колбы, в которую налито 150—200 см³ исследуемой воды, подкисленной 1—2 см³ концентрированной соляной кислоты. Колбу медленно нагревают. Признаком наличия сероводорода служит побурение бумажки.

12. К и с л о р о д O_2 встречается в каждой природной воде. Источниками кислорода в воде являются атмосферный воздух и растения, населяющие водоем. Содержание кислорода в воде подвержено значительным колебаниям, так как кислород непрерывно расходуется на окисление органических веществ.

Чем грязнее вода, тем меньше она содержит кислорода.

Высокое содержание кислорода является одним из факторов увеличения агрессивности водопроводной воды по отношению к железу, что особенно опасно при мягких водах.

Растворимость кислорода, так же как и других газов, подчиняется закону парциального давления Генри-Дальтона и зависит от температуры; с увеличением последней растворимость газов уменьшается.

При определении кислорода особое внимание уделяют отбору пробы. Скланку после прибавления реактивов (хлористого марганца и щелочного раствора иодистого калия) хорошо закупоривают, взбалтывают и переносят в лабораторию, где и производится анализ.

13. У г л е к и с л о т а CO_2 может встречаться в воде в следующих видах:

1) с в о б о д н а я углекислота, растворенная в воде в виде газа (около 99%) и отчасти в соединении с водой (H_2CO_3), состоящая из агрессивной и равновесной;

2) м о н о к а р б о н а т н а я, или с в я з а н н а я, углекислота, входящая в состав средних солей ($CaCO_3$, $MgCO_3$ и др.);

3) б и к а р б о н а т н а я углекислота, входящая в состав двууглекислых солей $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$.

Растворимость свободной углекислоты в воде при различных температурах (760 мм давления) приведена в табл. 5.

Таблица 5

t°	мг/л	см ³ /л	t°	мг/л	см ³ /л
0	1,008	0,51	25	0,435	0,22
5	0,830	0,42	30	0,395	0,20
10	0,711	0,36	40	0,316	0,16
15	0,593	0,30	50	0,257	0,13
20	0,514	0,26	60	0,217	0,11

Содержание углекислого газа в природных водах обычно выше теоретического, так как помимо углекислоты воздуха они поглощают углекислоту, образующуюся при разложении органических веществ.

Определение свободной углекислоты в воде (100 см³) производят титрованием ее раствором 0,1 нормального едкого натра в присутствии индикатора фенолфталеина до получения ясной розовой окраски (не исчезающей в течение 3 мин.), одинаковой со стандартном, отвечающим по фенолфталеину pH=8,4.

1 см³ 0,1 нормального едкого натра NaOH равняется 44 мг/л CO_2 .

Бикарбонатная углекислота определяется титрованием 0,1 нормальной соляной кислоты в объеме 100 см³ воды при индикаторе метилоранже.

1 см³ 0,1 нормальной соляной кислоты HCl равняется 4,4 мг/л CO_2 .

Полусвязанная углекислота составляет половину бикарбонатной.

Агрессивная углекислота определяется расчетным путем по таблице Лемана и Реуссу и экспериментально.

14. Ж е л е з о Fe в природных водах встречается главным образом в виде закисных солей, в форме бикарбонатов $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$. Последние в открытом водоеме вследствие выделения свободной углекислоты под влиянием изменения температуры и давления, с одной стороны, и под влиянием биохимических процессов, протекающих в водоеме, с другой, — распадаются и подвергаются гидролизу с образованием гидрата закиси железа $\text{Fe}(\text{OH})_2$, который в дальнейшем под действием растворенного в воде кислорода окисляется в гидрат окиси железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$, выпадающий в виде осадка — водной окиси бурого цвета.

Железо также может находиться в виде сернокислого и в соединении с органическими веществами.

Ничтожное количество железа (0,2 — 0,3 мг/л Fe) уже портит вкус, обуславливает помутнение воды, выделение осадков и образование отложений в водопроводных трубах.

Железо определяется реактивом — роданистым аммонием, который прибавляется после окисления закисного железа в окисное бертолетовой солью в присутствии кислоты. В зависимости от количества железа появляется окраска от слабозеленой до ярко-красной.

15. Ж е с т к о с т ь воды зависит от присутствия магниевых и кальциевых солей. Присутствие солей жесткости в гигиеническом отношении особого значения не имеет. При использовании воды для хозяйственно-технических целей жесткость является вредным свойством, обуславливая образование накипи, перерасход мыла и пр.

Различают жесткости: общую, постоянную, или некарбонатную, и временную (устраняемую), или карбонатную. Общая жесткость ($J_{\text{о}}$) воды выражает содержание в воде всех солей кальция и магния, как то: сернокислых, хлористых, азотнокислых, фосфорнокислых, кремнекислых и двууглекислых.

Временной ($J_{\text{в}}$), или карбонатной, называется жесткость, обусловленная двууглекислыми солями (бикарбонатами) кальция и магния $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, выпадающими при кипячении в открытом сосуде, т. е. при атмосферном давлении.

Постоянная ($J_{\text{п}}$), или некарбонатная, жесткость обуславливается всеми остальными солями кальция и магния, которые удерживаются в воде после ее кипячения в тех же условиях.

Жесткость воды выражается в градусах, имеющих в различных странах разное значение.

У нас жесткость воды выражается в немецких градусах; 1 нем. гр. соответствует содержанию в 1 л воды 0,01 г (10 мг) окиси кальция или 0,00719 г (7,19 мг) окиси магния.

При вычислении жесткости содержание окиси магния делят на 7,19* или умножают на 1,39** (округленно 1,4) и затем делят на 10³.

Пересчет содержания кальциевых и магниевых солей в немецкие градусы жесткости производится следующим образом: окиси кальция в 1 л 150 мг, окиси магния — 40 мг, следовательно, жесткость воды в немецких градусах:

$$0,1 \cdot 150 + 0,14 \cdot 40 = 20,6^\circ.$$

В практике обработки воды содержание некоторых химических соединений в воде выражают в немецких градусах, которые получают путем простого пересчета, исходя из эквивалентных весов; например, для едкого натра NaOH расчет следующий: эквивалентный вес

$$\text{CaO} = \frac{56,07}{2} = 28,035; \quad \text{NaOH} = 40,005$$

$$* 7,19 = \frac{\text{MgO} \cdot 40,32 \cdot 10}{\text{CaO} \cdot 56,07}$$

$$** 1,39 = \frac{\text{CaO} \cdot 56,07}{\text{MgO} \cdot 40,32}$$

Одной весовой единице CaO будет эквивалентно весовых единиц

$$\text{NaOH} = \frac{40,005}{28,035} = 1,427.$$

1° = 10 мг CaO; отсюда 1° = 10 · 1,427 = 14,27 мг NaOH. Аналогичным расчетом получены данные, приведенные в табл. б.

Таблица 6

Количество некоторых веществ, соответствующих 1 нем. гр.

№ по пор.	Наименование	Химическое обозначение	мг/л
1	Кальций	Ca	7,14
2	Окись кальция	CaO	10,00
3	Гидрат окиси кальция	Ca(OH) ₂	13,21
4	Карбонат кальция	CaCO ₃	17,84
5	Бикарбонат кальция	Ca(HCO ₃) ₂	28,91
6	Сульфат »	CaSO ₄	24,28
7	Магний	Mg	4,33
8	Окись магния	MgO	7,19
9	Гидрат окиси магния	Mg(OH) ₂	10,40
10	Карбонат »	MgCO ₃	15,03
11	Бикарбонат »	Mg(HCO ₃) ₂	26,09
12	Сульфат »	MgSO ₄	21,47
13	Едкий натр	NaOH	14,27
14	Карбонат натрия	Na ₂ CO ₃	18,90
15	Бикарбонат натрия	NaHCO ₃	29,96
16	Сульфат алюминия		
	» водный	Al(SO ₄) ₃ · 18 H ₂ O	39,61
17	» безводный	Al(SO ₄) ₃	20,34
18	Сернокислородное железо	FeSO ₄ · 7H ₂ O	49,58
19	Тринатрийфосфат	Na ₃ PO ₄ · 10H ₂ O	40,90

Жесткость воды определяют весовым и объемным способами (методы Варта-Пфейфера, Бляхера, Кларка).

Определение временной (карбонатной) жесткости Ж_в

100 см³ прозрачной исследуемой воды отмеривают пипеткой в коническую колбу, прибавляют 2—3 капли раствора метилоранжа и приливают 0,1 нормальной соляной кислоты до изменения золотисто-желтой окраски в оранжевую. Расход 0,1 нормальной соляной кислоты, умноженный на 2,8*, выразит временную жесткость воды в немецких градусах.

П р и м е ч а н и е. В присутствии щелочей, железа и гуминовых веществ цифры временной жесткости получаются преувеличенными и иногда даже выше общей жесткости. В таких случаях надлежит вводить поправку: вычитая из расхода кислоты на каждый миллиграмм железа Fe в 1 л воды 0,1° и полностью содержание гуматов, определенных в пробе воды после титрования соляной кислотой.

В присутствии щелочей (окраска по фенолфталеину на холоду или чаще всего после кипячения в течение 5—10 мин. от присутствия бикарбоната натрия) воду (100 см³) кипятят в течение 1 часа при постоянном уровне, т. е. пополняя убыль дистиллированной воды, быстро фильтруют, охлаждают, дополняют до 100 см³ дистиллированной водой и титруют 0,1 нормальной соляной кислотой.

Расход кислоты после кипячения вычитают из общего количества кислоты до кипячения или 100 см³ выпаривают в фарфоровой чашке досуха, слегка прокаливают (2—3 мин.) для более полного перехода бикарбоната натрия в карбонат, растворяют в дистиллированной воде, фильтруют и титруют 0,1 нормальной соляной кислотой с индикатором фенолфталеином. Количество куб. сантиметров кислоты удваивают и вычитают из общего расхода кислоты до выпаривания.

Определение общей жесткости (Ж_о) по методу Варта-Прейфера

Принцип этого способа заключается в том, что щелочноземельные соли (кальция и магния), обуславливающие жесткость воды, выделяются щелочной смесью, состоя-

* 1 см³ 0,1 норм. HCl эквивалентен 0,0028 г CaO или 2,8 мг; 1 нем. гр. в объеме 100 см³ соответствует 1 мг CaO. Отсюда 1 см³ норм. HCl = 2,8 нем. гр.

шей из едкого натра углекислого натрия, и прибавляемой в избытке к предварительно нейтрализованной воде. По количеству вошедшей в реакцию щелочной смеси судят об общей жесткости воды. 100 см³ нейтрализованной воды обычно после определения карбонатной жесткости кипятят в течение 3 мин. и приливают в нее в соответствии с предполагаемой жесткостью¹ от 10 до 35 см³ щелочной смеси Прейфера (смесь равных объемов 0,1 нормального раствора едкого натра и 0,1 нормального раствора углекислого натрия), после чего жидкость вновь кипятят в течение 3—5 мин., быстро охлаждают и сливают в мерную колбу емкостью 200 см³. Колбу, в которой производилось кипячение, споласкивают 2—3 раза дистиллированной водой в ту же мерную колбу, которую затем дополняют до метки дистиллированной водой. После этого содержимое колбы несколько раз энергично взбалтывают и фильтруют через сухой складчатый фильтр, отбрасывая первые порции фильтрата (20—30 см³).

К 100 см³ фильтрата прибавляют 2—3 капли метилоранжа и приливают 0,1 нормальной соляной кислоты до изменения золотисто-желтой окраски в оранжевую.

Обозначая количество прибавленной щелочной смеси через a и расход 0,1 нормальной кислоты при титровании фильтрата через b , вычисляют общую жесткость J_0 воды:

$$J_0 = (a - 2b^4) 2,8 \text{ нем. гр.}$$

Воды с жесткостью, превышающей 40°, разбавляют дистиллированной водой.

§ 5. Бактериологический анализ

При оценке воды для хозяйственных и питьевых целей кроме физико-химического анализа необходимы и данные бактериологического и биологического исследований ее.

Целью бактериологического исследования являются:

1) определение числа находящихся в воде бактерий — количественный анализ;

2) обнаружение присутствия болезнетворных бактерий (возбудителей брюшного тифа, дизентерии и пр.) — качественный анализ.

Первый заключается в определении общего количества бактерий, находящихся в 1 см³, способных вырасти (размножиться) в колонии на определенной питательной среде (желатине или агар-агаре) при определенной температуре (на желатине при 20—23°, агаре — 37°) в течение определенного времени (на желатине 48 час., на агаре — 24 часа). Полученный результат может служить относительным показателем развития бактериальной флоры в воде и, выходя из обычного для данного источника количества, явится сигналом загрязнения последнего.

Второй сводится к определению вида бактерий, находящихся в данной воде. Ввиду затруднений, связанных с определением каждого вида бактерий в отдельности, в обычном бактериологическом анализе ограничиваются определением (условно) только одного вида кишечной палочки *bacterium coli commune* как постоянного обитателя кишечника человека и животных, считая, что присутствие в воде кишечной палочки может служить признаком недавнего загрязнения фекальными отбросами, с которыми могли попасть в воду и болезнетворные бактерии.

При анализе на кишечную палочку определяют титр ее, т. е. наименьшее количество воды, в котором обнаружено присутствие кишечной палочки.

Обычно определения ведут в объеме 100; 10; 1; 0,1 см³ воды, причем чем выше титр, т. е. чем больший объем воды, в котором находят кишечную палочку,

¹ В зависимости от емкости мерной колбы, т. е. от производимого разбавления, величину b умножают на соответствующее число; так, при работе с колбой емкостью 250 см³ на 2,5; 300 см³ — на 3 и т. д.

тем чище вода. Титр кишечной палочки является решающим в санитарной оценке качества воды.

В последнее время определяют также коли-индекс, т. е. число кишечных палочек, заключенных в 1 л воды.

Отбор проб для бактериологического анализа должен быть произведен особо тщательно и проинструктированным лицом.

Пробы воды отбирают в стерилизованную посуду с соблюдением всех предосторожностей, требуемых техникой бактериологического анализа. Выемка проб с глубины производится специальными приборами, из которых наиболее простым является стерилизованная запаянная пробирка с оттянутым концом, внутри которой находится разреженный воздух. Если опустить пробирку в водоем на шесте и при помощи бечевки сломать тонкий оттянутый конец, то пробирка моментально наполнится водой.

По извлечении пробирки из водоема сломанный конец запаивают на спиртовке, помещают в стерилизованную банку и немедленно отправляют в бактериологическую лабораторию. Количество воды, заключающееся в пробирке, обычно достаточно для определения числа колоний.

При определении титра кишечной палочки (коли-титр) и патогенных бактерий требуется значительно большее количество воды. В первом случае нужно иметь не менее 250 см³, во втором — до 5 л.

В качестве посуды для взятия пробы применяют склянки с хорошо пригнанными каучуковыми или стеклянными пробками. Предварительно до отбора пробы склянки тщательно вымывают, закупоривают, перевязывают сверх пробки чистой белой бумагой и стерилизуют нагреванием в течение 1—2 часов при температуре 150°. Пробки открывают только перед наполнением водой и затем тотчас же закрывают, не касаясь руками горла склянки.

Если стерилизация посуды производилась в индивидуальных пакетах, то склянки хранятся в них до момента отбора проб.

При взятии проб воды из кранов, труб и т. п. концы их предварительно обжигают пламенем паяльной лампы или спиртовой горелки после выпуска воды в течение 10—15 мин.

Отбор проб родниковых или поверхностных вод производится путем простого погружения склянки, привязанной на веревке.

Промежуток времени от отбора до начала анализа должен быть возможно кратковременным, причем пробы следует сохранять во льду.

ГЛАВА II

НАКИПЕОБРАЗОВАНИЕ И КОРРОЗИЯ

§ 6. Накипь и ее свойства

Накипью, или котельным камнем, называют более или менее твердые отложения, образующиеся при нагревании или кипячении воды в различных условиях (при атмосферном и более высоких давлениях) (фиг. 247).

Подобные же отложения получаются при охлаждении нагреваемых поверхностей водой в холодильниках, конденсаторах и т. п.

Накипь обычно состоит из сульфата кальция (CaSO_4 — гипс), карбоната кальция (CaCO_3 — мел), гидрата окиси магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$, основных магниевых солей ($n\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot m\text{MgCO}_3$, силикатов кальция и магния CaSiO_3 , MgSiO_3 , окислов железа Fe_2O_3 , глинозема Al_2O_3 и механических примесей органического и минерального происхождения.

В зависимости от качества воды в накипи преобладают те или иные составляющие, придающие ей различные свойства.

Явление накипеобразования представляет сложный физико-химический процесс, сводящийся в основном к выделению солей из пересыщенных¹ растворов в твердом состоянии.

Все соли по их отношению к температуре могут быть разделены на две группы — на соли с положительным коэффициентом растворимости, т. е. растворимость которых повышается с увеличением температуры воды (к этой группе относится

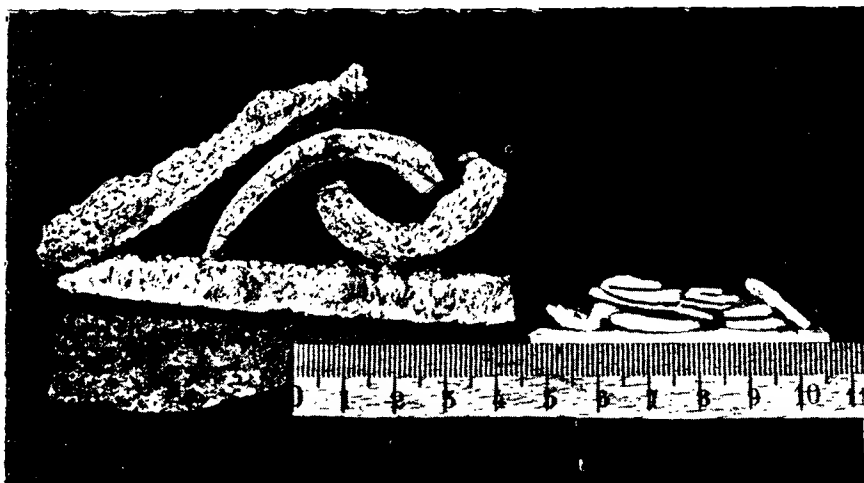
¹ Пересыщенный раствор — раствор с большим содержанием вещества, нежели насыщенный при той же температуре. При достижении такого состояния обычно происходит выделение солей в осадок.

большая часть солей), и соли с отрицательным коэффициентом, т. е. растворимость которых уменьшается с возрастанием температуры воды.

К первой группе относятся CaCl_2 , MgCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$

Ко второй » » CaSO_4 , CaSiO_3 , MgSiO_3 , CaCO_3

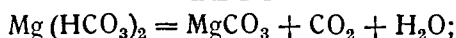
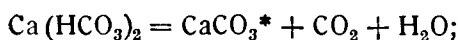
Пересыщенный раствор каждой соли может быть достигнут или увеличением концентрации (например в паровом котле при испарении воды) или изменением температуры, причем для солей с отрицательной растворимостью с повышением температуры, для солей с положительной растворимостью, наоборот, с понижением температуры.



Фиг. 247

Основные причины, обуславливающие выделение твердой фазы, следующие:

1) термический распад хорошо растворимых бикарбонатов кальция и магния с переходом их в малорастворимые соединения — карбонаты и гидраты:



2) реакция между отдельными солями в котле:



3) увеличение концентрации растворенных солей. При непрерывном испарении воды концентрация солей будет постепенно увеличиваться и может достигнуть предела растворимости при данной температуре, после чего соли будут выделяться в осадок. Соли с большим коэффициентом растворимости в осадок не выпадают, так как соответствующие высокие концентрации в котлах практически не достигаются;

4) изменение температуры. Соли с положительным коэффициентом растворимости, как уже указано, выделяются в осадок при понижении температуры, с отрицательным, наоборот, — при повышении. Особый интерес при этом представляет сульфат кальция, который в котле при температуре около 170° и выше и соответствующем давлении переходит в ангидрит, весьма мало растворимый в воде и выпадающий в осадок.

* Подчеркнутое — осадок.

Выделяющиеся частицы накипеобразователей механически увлекают различные примеси, находящиеся в воде (например взвесь), осаждаются на горячей металлической поверхности и одновременно прикипают к стенкам котла, образуя слой накипи.

§ 7. Разновидности накипи

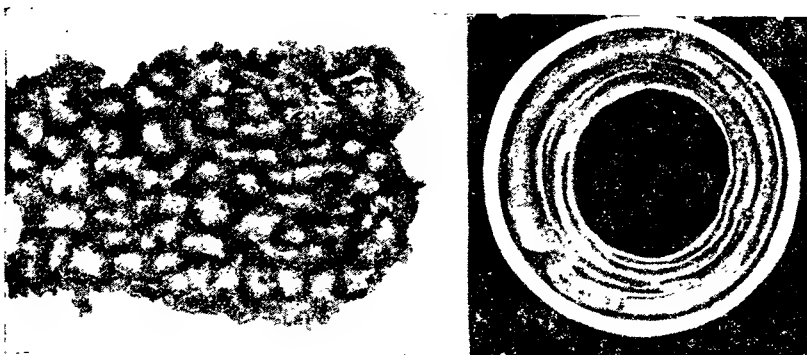
Различают следующие основные виды накипи:

1. Гипсовая (сульфатная) накипь с содержанием сернокислого кальция более 50%. Накипь имеет вид твердого плотного камня, с трудом отделяемого от металлической поверхности. Отлагается преимущественно на наиболее нагретых местах.

Образование гипсовой накипи¹ может происходить:

а) в результате непосредственного выделения кристаллов гипса в связи с отрицательным и к тому же незначительным коэффициентом растворимости гипса (первичная форма);

б) в результате происходящего при некоторых условиях процесса схватывания гипса, содержащегося в шламе, состоящего в поглощении воды полугидратной или ангидритной формой с выделением дигидрата (вторичная форма);



Фиг. 248

в) вследствие взаимодействия между сульфатами (например Na_2SO_4), содержащимися в котловой воде, и шламом, состоящим из карбоната кальция, или с кальциевыми солями остаточной жесткости котловой воды (третья форма).

2. Силикатная (кремнекислая) накипь с содержанием кремнекислоты выше 20%. В состав этой накипи может входить и кремнекислое железо. Кремнекислая накипь представляет твердые отложения, образующиеся на наиболее нагретых местах вследствие малой теплопроводности, очень опасные для паровых котлов.

Работами Штумпера установлено, что кремнекислота в природных водах находится большей частью в молекулярном состоянии и, вступая в реакции с солями кальция и магния, выпадает в котле в форме кальциевых и магниевых силикатов. В некоторых случаях кремнекислота может также выделиться в форме геля (студнеобразного осадка), который приводит к еще большим местным перегревам, чем силикаты кальция и магния, и поэтому является более опасным.

3. Карбонатная накипь—характеризуется содержанием преимущественно углекислого кальция не ниже 90%. Физическая структура этой накипи весьма разнообразна, начиная от сравнительно рыхлых отложений и кончая твердым котельным камнем (фиг. 248).

¹ Сульфат кальция известен в трех различных модификациях, из которых каждая является устойчивой лишь в определенных границах

Температура °С
До 107°
От 107° до 170°
Выше 170°

Модификация гипса
Дигидрат $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Полугидрат $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$
Ангидрит CaSO_4

Форма осадка углекислого кальция определяется целым рядом различных факторов, как например, скоростью циркуляции воды в котле, интенсивностью испарения и пр. Медленное испарение приводит к выделению углекислого кальция в виде плотно осаждающегося котельного камня; наоборот, интенсивный процесс обуславливает выделение рыхлых осадков.

4. Смешанная накипь — смесь карбонатов кальция и магния, гипса и силикатов; в зависимости от преобладания той или иной составной части может быть тверже или мягче. Так, накипь с преобладанием гипса или силикатов очень твердая, плотная; с преобладанием карбонатов — менее твердая, пористая.

5. Шлам — илообразные мягкие отложения накипеобразователей. Большею частью характеризуются высоким содержанием карбоната кальция и механических примесей. Образованию шлама способствует наличие в воде коллоидов (например гуминовых веществ), щелочей, механических примесей, а также интенсивный процесс кипения.

Некоторое преимущество шламовидных отложений перед твердыми заключается в том, что они могут быть сравнительно легко удалены в процессе работы котла при его продувках.

Однако в ряде случаев шлам является не менее опасным, нежели твердая накипь, особенно тогда, когда он остается в котле на сильно нагретых металлических поверхностях.

Структура накипи в значительной степени зависит от условий, при которых происходит рост отложений; так, быстрый рост благоприятствует образованию крупных кристаллов; медленный рост большею частью обуславливает мелкокристаллическую структуру.

§ 8. Влияние накипи на теплопередачу и металл котла

Наличие накипи вызывает следующие изменения в режиме парового котла:

а) уменьшение теплопередачи, что в свою очередь вызывает перерасход топлива и перегрев металла со всеми вытекающими последствиями (образование выпучин, прогары, пережог металла, трещины топки, течь связей и труб);

б) нарушение нормальной циркуляции воды вследствие местных скоплений накипи или завалов.

На диаграмме фиг. 249 приведен перерасход топлива в зависимости от толщины слоя накипи (по данным проф. Штумпера); в литературе встречается и целый ряд других данных.

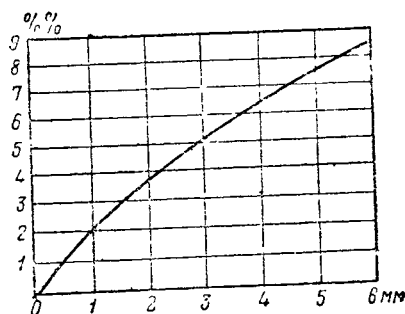
Наибольшую опасность представляет накипь, пропитанная маслом, а также силикатная.

Неравномерные отложения накипи обуславливают различную температуру соседних участков, что в свою очередь вызывает разное напряжение металла и деформацию его с образованием трещин, прозоров и пр.

При температуре выше 500° составные части накипи могут подвергаться диссоциации, продукты которой вызывают разрушение металла.

Наличие в накипи механических примесей минерального и органического происхождения вследствие их низкой теплопроводности также обуславливает перегрев и разрушение металла.

Таким образом, загрязнение котлов накипью и шламом обуславливает снижение паропроизводительности котла и вызывает расстройство его; паровозы чаще выходят из строя и дольше простаивают на промывках и ремонтах, межпромысловый пробег сокращается, а это в свою очередь вызывает увеличение паровозного парка и эксплуатационных расходов.



Фиг. 249

§ 9. Коррозия металла

Коррозией называется разъедание металла вследствие химических или электрохимических процессов.

Коррозии в большей или меньшей степени подвергаются паровозные котлы и металлические части элементов водоснабжения.

Факторы, обуславливающие коррозию, весьма многочисленны. Главнейшие из них следующие:

- а) газы—кислород, углекислый газ, сероводород;
- б) растворимые соли, из которых наиболее опасными являются хлориды;
- в) минеральные и органические кислоты;
- г) контакт разнородных металлов, например железа и меди;
- д) совместное действие высокой температуры, паров воды и продуктов разложения накипи;
- е) блуждающие электротоки.

А. ТЕОРИЯ КОРРОЗИИ

В основе современной теории коррозии лежит электрохимическая теория, дополненная пленочной теорией.

Согласно пленочной теории поверхность железа в атмосферных условиях покрыта слоем его оксидов оксидной пленкой — пленкой.

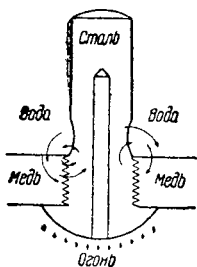
Коррозия железа начинается в местах, где какие-либо условия (физические или химические) нарушили целостность этой пленки.

В дальнейшем доминирующее значение приобретают гальванические процессы, возникающие между незащищенными и защищенными участками металла, приводящие к разрушению металла на анодах местных гальванических элементов.

Процессы эти могут возникать на поверхности металла также благодаря его химической или физической неоднородности.

Неоднородность металла, вызванная такими явлениями, как изгиб, удар, наклеп, обуславливает образование микроэлементов и разрушение более деформированного участка (анода).

Явления гальванокоррозии помимо того проявляются во всех случаях контакта разнородных металлов, находящихся в водной среде, — в паровых котлах и пр. Так, например, при контакте медной топки со стальной связью в результате гальванопроцесса разрушается железо (фиг. 250).

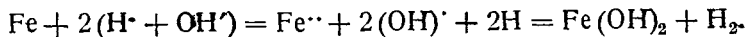


Фиг. 250

Б. ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ В ВОДЕ НА ПРОЦЕССЫ КОРРОЗИИ

Даже в совершенно нейтральной воде с $pH = 7$ железо переходит в незначительном количестве в раствор, вытесняя ионы водорода, с образованием гидрата закиси железа и водорода.

Реакция протекает по уравнению:



С увеличением же количества водородных ионов за счет минеральных и органических кислот (например гуминовых) коррозия металлов, как правило, усиливается.

Кислород является одним из активнейших факторов, способствующих коррозии. Он окисляет образующийся при гальванопроцессе гидрат закиси железа в не растворимый в воде гидрат окиси, обуславливая переход в раствор все новых и новых порций железа, и этим способствует непрерывному течению процесса. Кроме того, кислород служит деполяризатором, окисляя водород, выделяющийся при коррозии на катоде, в воду, облегчая тем самым процесс дальнейшего выделения водорода и увеличивая интенсивность коррозии.

Неравномерный доступ воздуха (кислорода) к металлу, по данным Астона и Эванса, может обуславливать возникновение электрохимического процесса. Кроме того, не исключена возможность самостоятельного окисления металла без участия электрохимических сил.

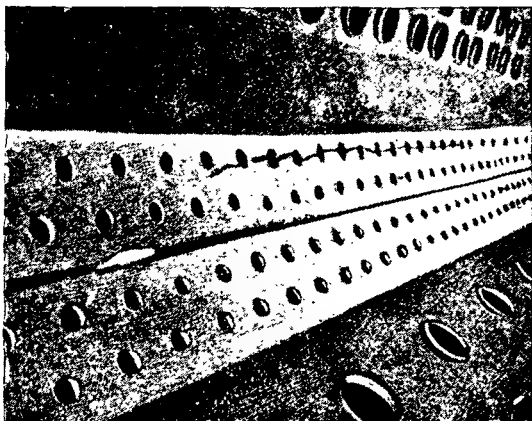
Пузырьки воздуха, содержащие кислород, скопляются преимущественно в местах ввода питательной воды в паровые котлы и охлаждающие системы или в местах с наименьшей циркуляцией воды и наиболее прочно удерживаются на шероховатой поверхности металла, обуславливая протравления различной величины. Кислород дает преимущественно очаги «точечной» коррозии в форме раковин, оспин, нередко приводящей к сквозным протравлениям металла.

Таким образом, все условия, способствующие притоку воздуха и влаги к металлу, тем самым способствуют его коррозии.

Углекислый газ, всегда сопутствующий кислороду, рассматривался большей частью лишь как катализатор (ускоритель) процессов окисления; однако в последнее время установлено, что значительное количество углекислоты в паровых котлах может обуславливать разъедание металла даже в отсутствии кислорода, особенно при наличии в воде хлористого натрия.

Кроме кислорода и углекислоты в воде иногда присутствует сероводород, который также разрушает металл с образованием сернистого железа.

Содержащиеся в воде растворенные соли, обуславливая повышение электропроводности воды, способствуют в большей или меньшей степени протеканию электрохимического процесса коррозии металла. Наиболее активными вследствие их специфической способности разрушать защитный слой — фильм являются хлористые соли и особенно хлористый магний, который в условиях работы парового котла сравнительно легко подвергается гидролизу с образованием гидрата окиси магния и соляной кислоты, разрушающе действующей на металл.



Фиг. 251

В. КАУСТИЧЕСКАЯ (ЩЕЛОЧНАЯ) ХРУПКОСТЬ МЕТАЛЛА

Под названием каустической хрупкости понимают такое перерождение котельного металла, которое происходит под влиянием высоких концентраций едких щелочей (примерно 350 г/л). Явление это может иметь место в заклепочных швах, в соединениях листов и капиллярных пространствах. В результате образуются трещины¹, разрывы по линиям заклепочных швов и пр. (фиг. 251).

Присутствие только одних щелочей не всегда обуславливает хрупкость металла: для этого необходимо некоторое перенапряжение металла. Высокое содержание щелочи может обуславливать также разъедание арматуры (бронзовые части).

Г. ПОДЗЕМНАЯ КОРРОЗИЯ

Подземная коррозия происходит в основном вследствие наличия в почве различных примесей и действия блуждающих электротоков.

¹ По данным американских исследователей, полученным в последнее время, явления образования трещин обуславливаются главным образом наличием в воде силикатов в присутствии щелочей.

Влияние примесей в почве

Металлические трубы, зарытые в почву, приходят в соприкосновение с растворенными солями, органическими и иными веществами, находящимися всегда

в большем или меньшем количестве в почве в зависимости от характера почвы, местного загрязнения (сточные воды) и т. д.

Действие этих примесей¹ различно, но большинство из них в влажной среде обуславливает образование в металле местных гальванических токов, а следовательно и его разрушение.

Солончаковые почвы, содержащие значительное количество солей и особенно хлоридов, очень вредны для металла вследствие высокой активности хлоридов и хорошей электропроводности. На фиг. 252 показана коррозия труб в солончаковой почве.



Фиг. 252

Наименее опасными с точки зрения коррозии являются песчаные почвы.

Д. КОРРОЗИЯ БЛУЖДАЮЩИМИ ТОКАМИ

Электрические железные дороги получают постоянный ток с центральной станции через надземный провод; обратно же ток возвращается по рельсам. Так как рельсы недостаточно изолированы от земли, то часть тока возвращается к электростанции не по рельсам, а через землю. Такие токи называются блуждающими. Плохая изоляция рельсов, большое сопротивление в стыках и высокая электропроводность почвы способствуют увеличению блуждающих токов.

Если вблизи рельсов расположены металлические подземные сооружения (трубы), то блуждающие токи, выходя из рельсов, могут входить в эти металлические сооружения и, пройдя по ним некоторый отрезок пути, возвращаются в рельсы. Так как металл, находящийся в почве, можно рассматривать как электрод в некотором растворе электролита, то в том месте, где ток выходит из металлического проводника в землю, положительно заряженные ионы металла переходят в электролит — землю, т. е. в этом месте происходит коррозия.

Коррозия этого типа преимущественно носит локальный (местный) характер и проявляется в форме сквозных протравлений и язвин.

Явления, подобные описанному, могут иметь место и независимо от электрических железных дорог в районах с рудами. Последние, состоя преимущественно из окислов и сульфидов металлов, благодаря целому ряду условий (окислительные процессы и пр.) могут образовывать природные гальванические элементы, порождающие электропоток различной силы, которые могут быть столь же опасными для металла, находящегося в почве, как и указанные блуждающие токи.

§ 10. Защита металла от коррозии

А. БОРЬБА С КОРРОЗИЕЙ ПАРОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК

Для борьбы с коррозией паросиловых установок применяют следующие мероприятия:

а) дегазацию питательной воды:

¹ По данным Клута, наиболее неблагоприятна сырая суглинистая почва, содержащая гипс. Не менее вредна болотная почва, содержащая гуминовые вещества и большое количество свободной углекислоты. Почвы, содержащие шлак доменных печей, золу, также вредны для металла вследствие наличия в них сернистых соединений.

- б) пассивирование металла;
- в) умягчение воды;
- г) повышение коррозионной стойкости металла;
- д) защиту протекторами.

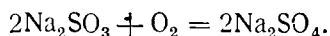
Дегазация питательной воды

Дегазация, или освобождение, питательной воды от растворенных в ней вредно действующих на металл газов осуществляется термическим, химическим и механическим методами.

Термическая дегазация основана на уменьшении растворимости газов с повышением температуры воды; заключается в нагревании воды в специальных приборах, называемых дегазерами, деаэраторами, до температуры 98 — 99°, при которой удаляется значительная часть газов. Аналогичный эффект может быть получен и при более низких температурах в вакууме.

В современных тепло-силовых установках у нас применяется преимущественно термическая дегазация.

Химическая дегазация основана на свойствах газов, содержащихся в воде, вступать в химические реакции с некоторыми химическими веществами, в результате чего образуются безвредные соединения. Так, углекислый газ удаляется (связывается) при помощи извести $\text{CO}_2 + \text{CaO} = \text{CaCO}_3$. Для удаления кислорода воду подвергают, например, обработке сульфитом Na_2SO_3 . Реакция протекает по уравнению:



Этот метод применяют самостоятельно или после термической дегазации. Сероводород удаляется при помощи аэрации.

Пассивирование металла

Пассивирование, т. е. утрата способности поверхности металла вступать в химические реакции с солями воды и газами, достигается присадкой к котловой воде веществ, способствующих повышению стойкости поверхностной оксидной пленки (щелочи в определенной концентрации), или содействующих ее образованию (хроматы, фосфаты).

Для предотвращения каустической хрупкости служит добавка в котлы сульфата натрия Na_2SO_4 .

Умягчение воды

Умягченная вода, содержащая некоторый избыток щелочи, может в известной мере служить защитой от коррозии.

Повышение коррозионной стойкости металла

Стойкость металла может быть увеличена присадкой других более коррозионно-стойких металлов. Например, широкое применение в промышленности имеют сплавы стали с хромом и никелем, известные под названием нержавеющей сталей. Эти сплавы обладают высокой стойкостью не только против атмосферной коррозии, но даже и против коррозии от морской воды.

Защита протекторами

Этот вид защиты состоит в том, что к защищаемому агрегату прикрепляют пластинки с более низким потенциалом в данной среде, нежели защищаемый металл, называемые протекторами. При этом протектор разрушается, а защищаемый металл остается без изменения.

Способ этот применялся для защиты от коррозии, а также и от накипи паровых котлов, причем в качестве протектора служили цинковые пластинки; в настоящее время находит применение для защиты от коррозии конденсаторов и в судостроении.

Б. ЗАЩИТА ТРУБ ОТ КОРРОЗИИ

Защита труб от коррозии состоит обычно в нанесении на поверхности металла изолирующего слоя.

Для трубопроводов, укладываемых в почву, наиболее действительным мероприятием могут служить покрытия нефтяным асфальтом и каменноугольным пеком, наносимым в горячем состоянии, причем последний как более водостойчивый рекомендуется для влажных почв, болот и т. п.

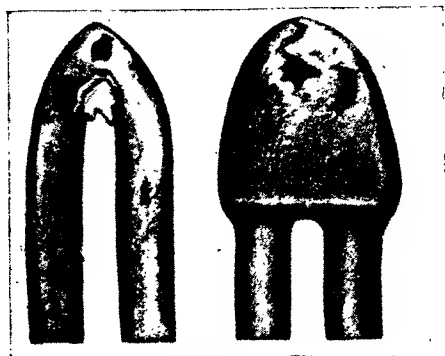
В США защита водопроводных труб от коррозии осуществляется следующим образом: тщательно очищенная поверхность сначала грунтуется раствором асфальта в газом (при нагревании), после чего на застывший слой наносится в расплавленном виде асфальт последовательно двумя слоями (второй слой после застывания первого).

Вместо асфальта применяют также каменноугольный пек; в некоторых случаях для защиты труб применяют цемент, асбестовый картон.

Коррозия блуждающими токами может быть значительно уменьшена при улучшении контакта между рельсами.

§ 11. Вспенивание и бурное вскипание (бросание) котловой воды

Под вспениванием воды в паровых котлах подразумевают свойство воды образовывать при парообразовании стойкую пену; под бросанием—неспокойное парообразование, кипение толчками и внезапное увлечение воды с паром.



Фиг. 253

Оба явления могут иметь место независимо друг от друга, но могут происходить и одновременно. Следствием того и другого являются увеличение влажности пара и загрязнение его различными примесями, унос воды с паром в паропроводы, в элементы пароперегревателя, а в некоторых случаях и заброс воды с шламом в цилиндры паровой машины.

Частицы воды, попадающие в элементы пароперегревателя, испаряются, оставляя на их стенках выделяющиеся из воды соли и механические примеси. Под действием высокой температуры эти отложения цементируются в весьма плотную массу, нередко забивающую элементы пароперегревателей. Отложения эти значительно ухудшают теплопередачу через стенки элементов, вследствие чего

понижается температура перегрева пара, а следовательно, и снижается мощность котла и значительно перегревается металл, особенно быстро сгорают колпачки. На фиг. 253 показаны перегоревшие элементы пароперегревателей. Помимо этого, когда котловая вода пенится, уровень ее поднимается выше нормального, и показания водомерного стекла становятся неправильными. При закрытии регулятора уровень ее быстро падает, что может в некоторых случаях вызвать оголение потолка топки и поджог его.

В паровых турбинах явление уноса может обуславливать отложения солей на лопатках и даже разрушение их.

Анализ солевых отложений показывает, что в состав их входят преимущественно легко растворимые соли, как то: хлористый натрий, хлористый кальций, углекислый натрий, едкий натр и сернокислый натрий.

Явления вспенивания и бросания воды объясняют наличием двух основных факторов: физических и физико-химических.

К физическим факторам, обуславливающим главным образом бросание воды, относятся недостаточное паровое пространство, сложность его устройства, наличие большого количества связей и т. д. Явления эти усиливаются при передвижении масс воды вследствие изменения положения самого котла, как, например, в паровозах и пароходах. Внезапное попадание механических примесей с пита-

тельной водой, изменение нагрузки котла, неосторожное открытие регулятора, высокая концентрация солей в воде и наличие масла — все это также может служить причиной бросания воды.

К физико-химическим факторам, обуславливающим преимущественно вспенивание, следует отнести наличие определенной концентрации различных растворенных солей NaCl , Na_2SO_4 , Na_2SO_3 и оснований NaOH при одновременном присутствии мелко раздробленных частиц (шлам, коллоиды). Согласно данным Штумпера и Нейхауза, наиболее опасным размером частиц как органических, так и минеральных является 0,1 — 0,3 микрона.

Опыт показывает, что в процессе пенообразования существенное значение имеют поверхностное натяжение и вязкость жидкости: чем меньше поверхностное натяжение и чем больше вязкость, тем пена более стабильна.

Всякая котловая вода представляет более или менее концентрированный раствор минеральных солей, оснований и органических примесей, что создает необходимые условия для вспенивания. При этом наибольшее значение имеют органические вещества потому, что они преимущественно сосредоточиваются у зеркала испарения и уменьшают поверхностное натяжение, а также потому, что они главным образом встречаются в коллоидальном состоянии, обеспечивающем пене наибольшую стабильность. Аналогичный эффект могут оказывать и минеральные примеси, например коллоидальная глинистая известь, шлам и пр., встречающиеся в каждой котловой воде.

Если котел вначале питать жесткой водой до тех пор, пока образуется накипь, а затем химически умягченной, то вследствие отставания и разрушения образовавшейся накипи вода начнет сильно пениться.

Некоторые масла и жиры являются наиболее опасными пенообразователями, так как, уменьшая величину поверхностного натяжения, они являются хорошими стабилизаторами пены вследствие своей вязкости.

Активная роль едких щелочей в пенообразовании, по данным Штумпера, объясняется, с одной стороны, тем, что они задерживают рост выделяющихся частиц накипеобразователей в котле в фазе, наиболее опасной для вспенивания, а с другой, переводят (разлагают) грубые органические примеси в коллоидальные продукты расщепления.

Явления вспенивания и уноса котловых вод на жел.-дор. транспорте довольно распространены и обычно имеют место в районах с естественными щелочными водами, при смене питания с жесткой воды на мягкую—щелочную, при чрезмерно высоких добавках антинакипина и при неудовлетворительных продувках котлов. Вспенивание наблюдается также при питании котлов недостаточно осветленной умягченной водой.

Основные мероприятия борьбы с вспениванием и бурным вскипанием должны быть в первую очередь направлены к улучшению качества питательных (отсутствие взвеси и органических веществ) и котловых вод, к устранению конструктивных недостатков котлов и к их правильной эксплуатации.

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

ОБРАБОТКА И СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

Г Л А В А I

КОАГУЛЯЦИЯ, СМЕШИВАНИЕ И ХЛОПЬЕОБРАЗОВАНИЕ

§ 1. Схема технологического процесса обработки воды

Схема движения воды по сооружениям

Правильное решение вопросов, связанных с обработкой воды, и выбор схемы обработки требуют предварительного изучения свойств сырой воды и уточнения требований к качеству обработанной воды.

Процессы обработки питьевой воды, наиболее часто встречающиеся:

- 1) отстаивание (удаление грубой взвеси);
- 2) отстаивание с коагуляцией (удаление взвеси, частичное освобождение от бактерий, обесцвечивание);
- 3) фильтрация (удаление мельчайшей взвеси, задержка значительного количества бактерий);
- 4) дезинфекция (окончательное устранение бактерий).

Процессы, встречающиеся реже:

- 1) устранение привкусов и запахов;
- 2) умягчение;
- 3) опреснение;
- 4) дегазация (устранение CO_2 и др.);
- 5) обесжелезивание;
- 6) аэрация (насыщение кислородом);
- 7) карбонизация (насыщение углекислотой).

Процессы обработки технической воды, наиболее часто встречающиеся:

- 1) задержка крупных фракций (камыш, трава и пр.);
- 2) отстаивание;
- 3) отстаивание с коагуляцией;
- 4) фильтрация;
- 5) умягчение (удаление солей жесткости).

Процессы, встречающиеся реже:

- 1) обесжелезивание;
- 2) дегазация;
- 3) опреснение (удаление всех солей);
- 4) карбонизация (при умягчении с избытком извести)¹.

Нагревание и охлаждение воды также являются процессами ее обработки.

Тип и характер сооружений для обработки зависят от намеченной схемы процессов обработки воды в данных местных условиях, обычно представляющей собой комбинацию из перечисленных выше процессов. Способ обработки воды, предназначенной для хозяйственно-питьевых нужд, должен быть согласован с органами санитарного надзора.

Вопросы, излагаемые далее, касаются обработки питьевых вод и за некоторым исключением обработки воды для технических нужд. Вода, предназначенная для питания паровозов, не должна содержать в себе веществ, вредно влияю-

¹ Термин «карбонизация» нам кажется здесь более приемлемым, чем часто применяемый в этих случаях «рекарбонизация».

щих на котлы и арматуру. В этом смысле вода, идущая для питания паровозов серий СО, Э и менее мощных, при длительном содержании взвешенных веществ в количестве 400 мг/л и выше должна подвергаться отстаиванию. Для паровозов серии ФД и более мощных вода должна подвергаться отстаиванию при содержании в ней 200 мг/л взвешенных веществ. К воде, предназначенной для охлаждения ртутных выпрямителей, предъявляется более повышенное требование — длительное содержание взвешенных веществ не свыше 100 мг/л, в противном случае необходимо отстаивание.

Приведенные нормативные данные указаны в проекте Технических условий проектирования железных дорог нормальной колеи 1938 г. Эти данные следует рассматривать лишь как ориентировочные, так как в целом ряде случаев отстаивание необходимо и при меньшем содержании взвешенных веществ.

Под длительным содержанием взвешенных веществ надо понимать содержание определенного количества их по крайней мере в течение нескольких дней.

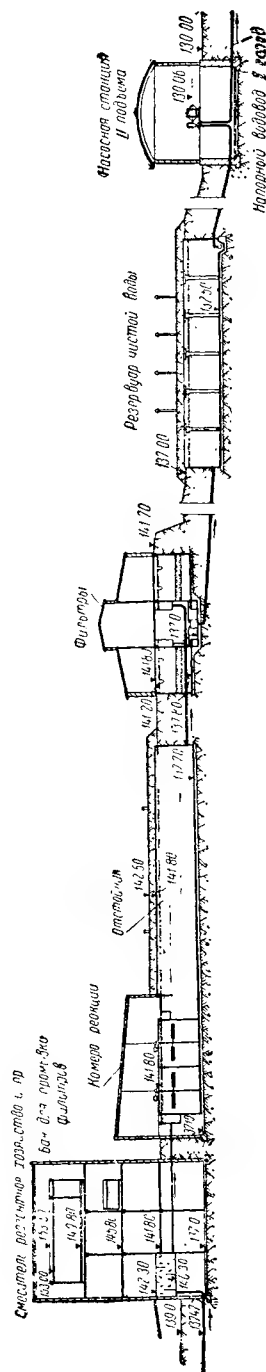
В ряде случаев при повышенном содержании взвешенных веществ и при наличии трудно осаждаемой взвеси может быть целесообразным отстаивание и фильтрация воды.

Конструкции отдельных сооружений станции обработки воды проектируются в соответствии с принятой схемой технологического процесса, существующими типами этих сооружений и с учетом местных условий. Взаимная увязка сооружений дается в высотной схеме. На фиг. 254 представлена высотная схема одной из станций обработки воды с указанием отметок сооружений и отметок воды в отдельных сооружениях.

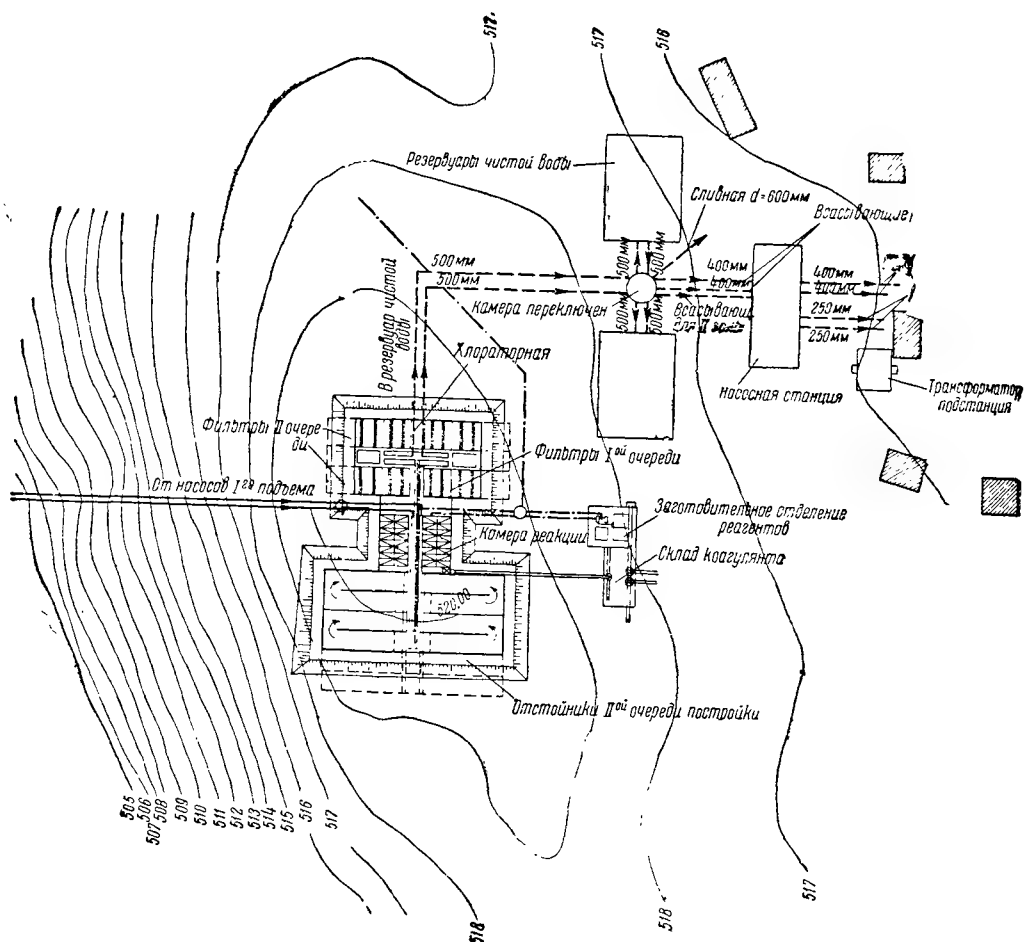
Отметки уточняются в результате составления проекта и проведения соответствующих расчетов, но они должны и могут быть примерно показаны предварительно до составления проекта на основании следующих соображений: отметка наивысшего уровня воды в резервуаре принимается близкой к отметке земли в месте его расположения. Эта отметка может быть принята и несколько большей, если этого требуют местные условия.

Обычно потери напора от фильтров до резервуара выражаются величиной 0,5 — 0,6 м, в самих фильтрах (загрязненных) — примерно 3—3,25 м, на пути из отстойников на фильтры — до 0,2 м, смесителе (в зависимости от его конструкции) и на пути к камере реакции — 0,5 — 0,6 м и в камере реакции (в зависимости от конструкции ее) — 0,2 — 0,4 м.

Наметив состав и вид сооружений и некоторые характерные отметки воды, определяют отметки дна резервуара, фильтров и др. сооружений, отметки заложения спускных труб, канализации, определяют величину заглубления сооружений, необходимость подсыпки и т. д. Таким образом, высотная схема, или схема движения воды по сооружениям, является крайне важным начальным элементом проектирования. Одновременно необходима и увязка сооружений в плане, как это показано на фиг. 255.



Фиг. 254



Фиг. 255

§ 2. Коагуляция

Осаждение взвешенных в воде частиц зависит от ряда факторов и главным образом от крупности этих частиц. Табл. 1 характеризует примерные скорости осаждения шарообразных частиц различной величины в воде, находящейся в покое.

Таблица 1

Диаметр зерен в мм	Название и характер взвеси	Скорость осаж- дения в мм/сек	Время, не- обходимое для осаж- дения на 0,3 м	Примечания
10	Гравий	1 000	0,3 сек.	По опытам Газе- на
1	Крупный песок	100	3,0 »	
0,1	Мелкий песок	8	38,0 »	
0,01	Ил, глина	0,154	33,0 мин.	
0,001	Бактерии, глина	0,00154	55 час.	По формуле Уай- лея
0,0001	Самые мелкие частицы глины	0,0000154	230 дней	
0,00001	Коллоидные частицы . .	0,000000154	63 года	

Из табл. 1 следует, что очень мелкие частицы (особенно гуминовые вещества, находящиеся в воде в коллоидальном состоянии) в обычных отстойниках с незначительной скоростью движения в них воды не осадут, если не будет применена специальная обработка воды.

Когда естественное осаждение мелких частиц и коллоидов, обуславливающих мутность, а иногда и цвет воды, не может дать удовлетворительных результатов, для ускорения осаждения применяются химические вещества—коагулянты, дающие в воде хлопьевидные образования.

Отстаивание (без химической обработки) и медленная фильтрация, при которой задержка очень мелкой взвеси и коллоидов происходит на поверхности фильтров, уступили свое место отстаиванию с химической обработкой отстаиваемой воды с предварительной коагуляцией и скорой фильтрации.

Коагуляцией называется процесс свертывания вещества, находящегося в коллоидальном состоянии.

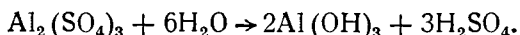
Содержащиеся в природных водах коллоидальные частицы глины, кремнекислоты, гуминовых веществ и др. несут на себе одноименные заряды электричества и поэтому, взаимно отталкиваясь, держатся во взвешенном состоянии. В частности частицы глины и кремнекислоты заряжены отрицательно. Осаждение их возможно после уничтожения их зарядов, что достигается практически при взаимодействии противоположно заряженными коллоидными частицами коагулянта.

Образующиеся хлопья коагулянта захватывают мельчайшую муть, органические вещества и бактерии и адсорбируют вещества, придающие воде окраску.

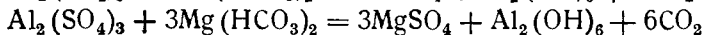
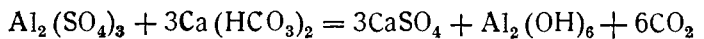
Лучшими коагулянтами являются соли многовалентных металлов алюминия и железа, сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, называемый сернокислым глиноземом, и сульфат железа $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (сернокислая закись железа), называемый железным купоросом.

Сульфат алюминия обыкновенно можно употреблять в качестве коагулянта без добавки других химических веществ (исключение составляет коагуляция очень мягких вод, когда необходимо введение извести); сульфат железа требует обязательного употребления извести с тем, чтобы в обрабатываемой воде не оставалось растворимого железа.

Принципиально реакция распада глинозема могла бы быть представлена следующим образом:

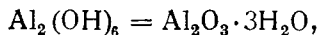


Но коагулянт при введении в воду вступает в реакцию с бикарбонатами кальция и магния, постоянно находящимися в воде в большем или меньшем количестве. Реакция может быть представлена в следующем виде:



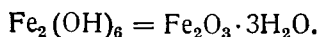
(бикарбонаты кальция и магния нейтрализуют серную кислоту, при этом выделяется углекислота).

Коллоидальная гидроокись алюминия переходит в водную окись



выпадающую в виде хлопьев. Коллоидные частицы гидрата окиси алюминия, заряженные положительно, нейтрализуют отрицательные заряды гуминовых веществ и пр., обуславливая тем самым выделение их в осадок. При движении хлопья объединяются и механически увлекают за собой частицы взвеси и бактерии. При недостаточной щелочности воды реакция образования гидроокиси не идет полностью. При избыточной щелочности возможно образование растворимых алюминатов, т. е. часть необходимой гидроокиси алюминия не будет использована.

При использовании в качестве коагулянта $FeSO_4$ идет реакция с образованием $Fe_2(OH)_6$; последнее переходит в хлопья водной окиси железа слабо-коричневого цвета



Как это следует из реакции, коагуляция ведет к некоторому увеличению постоянной жесткости.

В СССР до сих пор применяется почти исключительно сернокислый глинозем, в последнее время в отдельных случаях рекомендуется и совместное с ним применение извести.

На подавляющем большинстве станций США применяется сернокислый глинозем и лишь на небольшом количестве станций — железный купорос, оказавшийся более дешевым.

Железный купорос требует добавления и дозирования извести и мало применим к болотным водам с гуминовыми веществами. Железо с гуминовыми веществами дает сложные соединения (часто темнубурого цвета). Гуминовые соединения образуют с гидратом глинозема нерастворимые выпадающие в осадок лаки; при наличии в мягких водах гуминовых веществ явления коагуляции могут иметь место и при недостаточной щелочности.

1 г продажного сернокислого глинозема $Al_2(SO_4)_3 + 18H_2O$:

а) образует при коагулировании 0,234 г гидроксид алюминия $Al_2(OH)_6$, содержащей 0,153 г безводной окиси алюминия, занимающей объем вместе с коллоидально удерживаемой водой свыше 5 см^3 (по опытным данным Рублевской станции за 1932 г. 1 г коагулянта приводил к образованию около 30 см^3 осадков);

б) переводит в 1 м³ воды 0,025 нем. гр. жесткости из временной в постоянную;

в) увеличивает на 0,36 мг содержание серного ангидрида. Неочищенный глинозем приводит к несколько иным результатам.

За границей как коагулянт применяют еще алюминат натрия и известь.

Сернокислый глинозем обычно получается на заводах обработкой серной кислотой бокситов, каолина и белых глин, обжигаемых при высоких температурах, размельчаемых и смешиваемых с серной кислотой.

Различают глинозем неочищенный, очищенный или рафинированный, и муттовский (изготавливается по особому способу Мутта).

Примерный состав глинозема:

Окись алюминия Al_2O_3	около	15%
Серный ангидрид SO_3	»	35%
Окись железа и другие примеси	»	1%
Вода	»	49%
Свободная кислота не выше		0,1%
Удельный вес около		1,6

Очищенный продажный глинозем светлый, серовато-зеленоватый и имеет состав, несколько отличающийся от приведенного, а неочищенный отличается более значительно вследствие большого содержания нерастворимых примесей; последний имеет вид ноздреватых кусков серого цвета.

Муттовский глинозем содержит в среднем $Al_2(SO_4)_3$ лишь 33 — 35%. Нормальное отношение Al_2O_3 к SO_3 равно примерно 0,42. Увеличение в глиноземе SO_3 и уменьшение Al_2O_3 (глинозем более кислый) нежелательно, так как это ухудшает хлопьеобразование. Особенно вреден такой кислый глинозем во время паводков при мягкой воде и воде, имеющей малую временную жесткость, так как нейтрализация требует большего количества двууглекислых солей; последних может нехватить для реакции с $Al_2(SO_4)_3$, и коагулирование окажется неудовлетворительным.

В США в последнее время в некоторых случаях к коагулянту добавляют силикат натрия, в результате чего имели место ускорение процесса коагуляции и увеличение размеров и прочности хлопьев коагулянта. Имеются указания об экономии в этих случаях коагулянта, о возможности использования более крупного фильтрующего материала и получения при этом вполне удовлетворительного фильтрата, даже при повышенных скоростях фильтрации.

Процесс коагуляции должен протекать в таких условиях, чтобы обеспечить минимальную затрату коагулянта и быстрое и хорошее хлопьеобразование с тем, чтобы основная масса хлопьев успела выпасть в отстойнике и не выносились на фильтр.

Условия коагулирования воды не могут быть одинаковыми для всех вод и для всех периодов года. Оптимальные условия коагулирования в каждом отдельном случае устанавливаются в результате специальных исследований. Мягкие воды, содержащие гуминовые вещества, могут представить в этом смысле особые трудности. Вообще же на процесс коагуляции влияет: а) температура воды, б) солевой состав, в) содержание органических веществ, г) рН воды, д) содержание и характер взвешенных веществ в воде, е) характер и продолжительность перемешивания, ж) доза коагулянта.

Влияние температуры воды на процесс коагуляции и некоторые дополнительные процессы при низких температурах. Низкая температура обуславливает медленное и плохое хлопьеобразование, особенно при мало минерализованных водах; образующиеся хлопья часто очень мелкие, в незначительной степени задерживаются в отстойнике, попадают в фильтры, ухудшают их работу и в мелкоколлоидальном состоянии попадают даже в резервуары с обработанной водой.

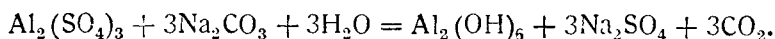
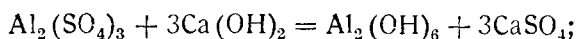
При искусственном замутнении воды время образования хлопьев коагулянта и крупность хлопьев могут иногда резко изменяться и весь процесс значительно улучшаться. При низкой температуре в отдельных случаях это может привести к лучшему осаждению. Искусственное замутнение воды создает, повидимому, большее количество центров образования хлопьев.

Улучшение процесса коагуляции при низких температурах имеет место при введении в воду СаО. В этом случае процесс может идти лучше, чем при замутненной воде, но при этом вследствие увеличения щелочности может увеличиться потребная доза коагулянта.

К искусственному замутнению воды прибегают редко, к прибавлению извести — чаще, однако, как указано, первый способ может дать эффект при меньших дозах коагулянта.

Влияние солевого состава воды и подщелачивания. Реакция коагулирования обычно требует определенного содержания бикарбонатов, т. е. временной жесткости в воде. При мягких водах для получения удовлетворительных хлопьев к воде часто прибавляют известь или соду, в противном случае хлопья коагулянта плохо образуются.

Процесс прибавления извести или соды носит название подщелачивания.



Помимо дефицитности соды прибавление извести более желательно, потому что не приводит к образованию в воде CO_2 , удаление которой может еще усложнить схему обработки воды. Однако растворение соды проще, поэтому проще и обслуживание. На 1 мг/л сухого безводного $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ необходима щелочность в 0,05°. Если максимальная доза безводного коагулянта, вводимая например при обработке речной воды в начале весны (при наиболее мягкой воде), равна a мг/л, то количество градусов временной жесткости, необходимых для реакции, равно 0,05 a , если же считать необходимым для обеспечения реакции избыточную жесткость порядка 2°, то количество градусов временной жесткости должно быть равно 0,05 a + 2°.

Если временная жесткость равна J_a° , то подщелачивание необходимо на (0,05 a + 2° — J_a°).

Подщелачивание дает возможность несколько увеличить действующую дозу коагулянта и получить дополнительную гидроксид. В тех случаях, когда коагуляция более жестких вод при низких температурах идет вяло, применяют также подщелачивание воды.

В профильтрованной воде обычно не должно уже содержаться гидроокиси алюминия, которая в состоянии высокой дисперсности могла бы пройти через фильтр; при нормальной работе фильтра опалесценция не должна появляться. При обработке мягких вод болотистого происхождения и притом с незначительным

содержанием взвешенных веществ некоторое содержание гидроокиси алюминия в профильтрованной воде почти всегда имеет место, но при обработке более жестких вод и при наличии в этих водах достаточных количеств бикарбонатной щелочности, содержания гидроокиси алюминия в профильтрованной воде при правильной постановке процесса не должно быть. В этом смысле дополнительные определения в фильтрованной воде алюминия позволяют окончательно судить и о качестве воды и о работе сооружений.

Органические вещества в воде, характеризующиеся окисляемостью, влияют на процессы коагуляции и увеличивают потребную дозу коагулянта.

Концентрация ионов водорода pH , как уже указывалось, является показателем степени щелочности или кислотности воды.

Имеются частные значения pH , так называемые наилучшие или оптимальные для разных вод, примерно указывающие, когда осаждение определенного коагулянта в воде происходит наилучшим образом; для некоторых вод наилучшее pH для коагуляции отличается от pH необработанной воды, что имеет большое значение для правильности коагулирования. При коагуляции необходимо вести определения pH и хотя бы частично на этих определениях базироваться в увязке с опытным коагулированием.

Подщелачивание приводит часто к наиболее благоприятному для данного случая pH , это приводит в свою очередь к лучшему хлопьеобразованию. Обычно доза извести, при которой имеют место хорошее хлопьеобразование и осаждение, должна быть указана лабораторией в результате соответствующих исследований.

Для воды р. Невы процесс коагуляции протекает наиболее эффективно при $pH = 6,6$. При этом происходит почти полное выделение гидроокиси алюминия (остаточный алюминий — сотые доли миллиграмма на литр).

При применении сульфата железа получается осадок водной окиси железа, очень похожий на осадок, получаемый при применении сульфата алюминия. При применении сульфата железа необходимо, чтобы щелочность воды соответствовала величине pH выше чем 8,5; в этом случае получается достаточно быстрое осаждение хлопьев, так что, грубо говоря, почти во всех случаях при употреблении сульфата алюминия можно получить при обработке воды хорошее осаждение, если величина pH колеблется от 6 до 8, то же при применении сульфата железа, если pH колеблется от 8,5 до 10,5.

Опыт обесцвечивания сильно окрашенных вод показал, что наилучшая коагуляция при употреблении глинозема имеет место при величине pH несколько ниже 6.

Содержание взвешенных веществ в воде. Воды с большой мутностью требуют больших доз коагулянта; коагуляция затруднена при слабой минерализованности воды и относительно высокой ее прозрачности. В США в таких случаях искусственно замутняют воду, обычно глиной, а в некоторых случаях осадками из отстойника. Повидимому, такое искусственное замутнение приводит к созданию в воде центров образования хлопьев, что способствует улучшению процесса хлопьеобразования.

Влияние на процесс коагуляции характера и продолжительности перемешивания. При перемешивании воды после введения в нее коагулянта, хлопьеобразование идет лучше и значительно быстрее, важно лишь, чтобы при этом хлопья не разрушались. Отдельные исследователи указывают, что при достаточном перемешивании имеет место и экономия коагулянта. Причину положительного влияния перемешивания на эффект осаждения следует искать в том, что при перемешивании облегчается объединение и укрупнение хлопьев, а следовательно растет и скорость осаждения.

Промежуток времени для перемешивания не может быть указан для всех вод и различных температур, но в каждом отдельном случае существует свой оптимум времени перемешивания. Здесь понимается не только пребывание воды в смесителях, но и в камерах образования хлопьев.

Опыты с водой р. Невы показали достаточность перемешивания в течение 3 мин. при высокой температуре воды (летом) и примерно 10 — 15 мин. при низ-

кой температуре (зима, начало весны). Теми же опытами установлено, что при подщелачивании воды при высокой температуре длительность перемешивания почти не оказывает влияния на хлопьеобразование и процесс осаждения, а при низкой — наоборот. Таким образом, длительность перемешивания зависит от температуры воды и ее свойств.

Время, необходимое для перемешивания, должно устанавливаться в каждом отдельном случае соответствующими исследованиями.

Доза коагулянта. Величина хлопьев коагулянта должна быть достаточной, примерно 0,5 — 0,6 мм. Нормальные укрупненные хлопья хорошо адсорбируют взвесь и гуматы, придающие воде окраску, осаждаются с большей скоростью и почти не выносятся на фильтры.

Доза коагулянта должна быть такой, чтобы при данных условиях было обеспечено образование относительно крупных хлопьев. Эта доза может быть найдена лабораторным путем.

Для ориентировки в табл. 2 и 3 приводятся дозы из практики московского водопровода в зависимости от прозрачности воды, и некоторых водопроводов США в зависимости от мутности воды, характеризующей содержание в ней взвешенных веществ.

Таблица 2

Прозрачность воды р. Москва в см	Сульфата алюминия (продажного) в мг/л	Примечание
Меньше 10	150	Доза безводного глинозема примерно вдвое меньше
10—15	120	
15—25	100	
25—50	80	
50—75	60	
75—100	40	
Больше 100	20	

Таблица 3

Мутность воды в мг/л	Сульфата алюминия (продажного) в мг/л	Примечание
10	5	Доза безводного глинозема примерно вдвое меньше
25	20	
50	30	
75	35	
100	40	
125	45	
150	50	
175	55	
200	65	
300	80	
400	100	

Между прозрачностью, дающей лишь относительное представление о возможном содержании в воде взвешенных веществ, и мутностью, определяемой по американской шкале путем сравнения данного образца воды с образцами воды, замутненной тончайшим порошком кремнезема SiO_2 (мутность в этих образцах указывает количество SiO_2 в миллиграммах на литр воды), есть связь.

Сравнение ряда данных приводит к выводу о необходимости снижения доз коагулянта на наших установках; в США средний расход коагулянта на 1 м³ обра-

бываемой воды обычно меньше; возможно, что здесь имеет значение качество коагулянта.

В результате прибавления в ряд цилиндров с водой различных доз коагулянта, тщательного перемешивания и дальнейшего наблюдения за хлопьеобразованием определяется оптимальная или приемлемая доза коагулянта (получение хороших хлопьев в течение 40 — 50 мин.).

Для средней полосы Союза (севернее Ростова — Астрахани — Семипалатинска) максимальную дозу (продажного глинозема) ориентировочно можно принимать в 150 мг/л, для северной полосы (севернее Ярославля — Казани — Свердловска) — около 120 мг/л и для южной — около 180 мг/л. При расчете по безводному реагенту принимаются дозы вдвое меньшие.

На величину дозы оказывает влияние и качество глинозема. Обычно в последнем свободной H_2SO_4 бывает гораздо более 0,1%. Это ведет к снижению pH и иногда к ухудшению процессов хлопьеобразования. При наличии кислого глинозема целесообразно к воде прибавить известь (коагулирование с подщелачиванием), нейтрализующую свободную H_2SO_4 . Как это следует из изложенного, известь является весьма важным фактором при коагуляции сернокислым глиноземом, в ряде случаев улучшающим процесс коагуляции.

§ 3. Сооружения для коагулирования воды. Дозирование коагулянта

К сооружениям и устройствам для коагулирования воды и дозирования коагулянта относятся:

- а) здание коагуляции;
- б) баки для приготовления растворов сернокислого глинозема и известкового молока;
- в) бачки для дозирования;
- г) различные дозирующие устройства;
- д) трубопроводы, насосы и пр.

Сюда же относятся и склады для хранения коагулянта и извести.

Проектированию устройств для коагулирования и известкования предшествует решение следующих вопросов.

1. **С п о с о б д о з и р о в а н и я.** Существует два способа дозирования: мокрый, при котором готовятся растворы коагулянта и далее они же и дозируются, и сухой, при котором коагулянт соответственным образом измельчается и далее дозируется. Ниже описываются оба способа.

2. **М е с т о в в о д а р а с т в о р о в (и л и с у х о г о) к о а г у л я н т а.** Как правило, растворы коагулянта вводятся в смеситель или в трубу перед отстойником, если она заменяет смеситель. В периоды, когда вода прозрачна, коагулянт может вводиться в воду, выходящую из отстойника, для образования на фильтре пленки. Иногда при большом количестве крупной взвеси и при достаточной емкости отстойника целесообразно коагулянт вводить во вторую половину отстойника (т. е. горизонтального). Хотя это и усложняет оборудование, но зато может дать экономию коагулянта. В некоторых случаях в схеме обработки воды отсутствует отстойник, тогда коагулянт вводится в воду перед поступлением ее на фильтр. Сухой коагулянт взводится в смеситель.

3. **Р а с п о л о ж е н и е у с т р о й с т в д л я д о з и р о в а н и я.** Схемы установок представляются в виде следующих вариантов:

а) **б а к и д л я р а с т в е р е н и я и д л я р а б о ч и х р а с т в о р о в** находятся в одном из верхних этажей станции обработки воды, куда коагулянт подается подъемником в твердом виде; здесь идет растворение и отсюда же рабочие растворы идут самотеком к смесителю. Такая схема обычно применяется для станций производительностью до 10 000 — 15 000 м³ воды в сутки;

б) **б а к и д л я к р е п к и х р а с т в о р о в** находятся в первом этаже или в отдельном здании. Здесь идет растворение и отсюда растворы подаются периодически в один из верхних этажей, откуда уже в виде рабочих растворов идут к смесителю. Такая схема обычно применяется для станций свыше 10 000 — 15 000 м³ воды в сутки;

в) то же, что и вариант «б», но на верхние этажи идет лишь подача дозированного рабочего раствора.

Первый вариант наиболее надежный, но для средних и больших станций может потребовать усиления некоторых частей здания, так как емкость баков, а следовательно и нагрузка от них, могут быть значительными. Поэтому первый вариант обычно применяется для малых станций и реже — для средних.

Второй вариант предусматривает периодическую перекачку растворов наверх к дозирующим устройствам специальными насосами из кислотоупорных материалов по кислотоупорным трубам. К числу последних могут быть отнесены эбонитовые и особые гумированные. Применение чугунных труб в качестве временных допускается при покрытии их внутри противокислотной изоляцией.

В отдельных случаях применяются эбонитовые эжекторы. На фиг. 256 показан такой эжектор для подачи раствора в количестве $Q_2 = 3 \text{ л/сек}$ при $H_2 = 10 \text{ м}$. Для подачи указанного количества раствора к эжектору подводится вода в количестве $Q_1 = 3 \text{ л/сек}$.

При наличии сжатого воздуха подъем растворов наверх может осуществляться с использованием последнего.

Третий вариант в обычных схемах обработки воды используется редко. Он применим при нагнетании определенных доз коагулянта непосредственно в напорную трубу; последнее достигается установкой насоса или эжектора.

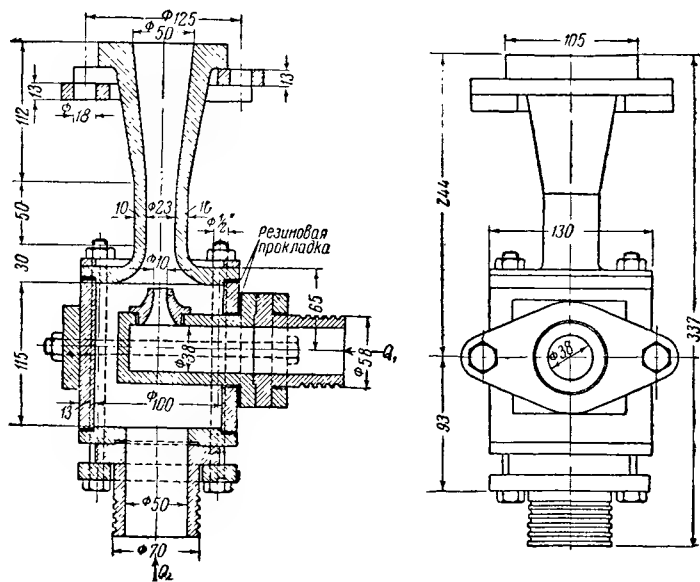
Здание коагуляции. Название это перешло к нам из США и применяется независимо от того, что отдельные

здания коагуляции часто и не проектируются. На ряде средних и особенно на больших станциях обработки воды в США многоэтажное здание коагуляции включает в себя устройства для механизированной выгрузки коагулянта, извести и других химических материалов, идущих для обработки воды, склады и бункеры для хранения их, дробилки для измельчения, конвейеры и элеваторы или иные подъемники для перемещения, автоматические весы, баки для гашения извести, устройства для нагнетания, дозирующие приспособления, вентиляционные устройства и т. д. Конечно, на небольших станциях, где особого здания не предусматривается, нет необходимости в таком сложном комплексе оборудования, но все (даже простые) устройства должны быть так размещены, чтобы вместе с необходимыми мероприятиями по механизации процесса обеспечить надежность работы и удовлетворительные условия труда обслуживающего персонала.

Для средних станций обработки воды здание коагуляции проектируется совместно с зданием, в котором расположены фильтры, а для малых — соответствующие устройства для коагуляции располагаются в верхних этажах зданий фильтров.

На станциях для обработки питьевой воды предусматриваются установки:

а) для коагулирования;



Фиг. 256

- б) для известкования;
- в) для хлорирования хлорной известью и хлорным газом;
- г) для дехлорирования.

Кроме того, предусматриваются склады и помещения для хранения материалов в соответствии с текущим расходом.

Во многих случаях известкование и дехлорирование не проектировались, несмотря на то, что в соответствии с качеством воды и правильной схемой обработки они должны были предусматриваться.

Как это видно из плана одной из станций (фиг. 255), заготовка растворов реагентов запроектирована рядом со складами в небольшом отдельном здании (небольшие баки для рабочих растворов запроектированы во втором этаже здания фильтров). На фиг. 257 показаны план и разрезы этого здания. Здесь предусматриваются склад для коагулянта и хлорной извести, два бака для приготовления крепких растворов, один — для перепуска в него крепких растворов.

В случае необходимости раствор хлорной извести может быть приготовлен в одном из баков для коагулянта. Вообще же хлорирование предусмотрено хлорным газом. Насосы установлены кислотоупорные. При ином решении схемы здесь же можно было предусмотреть приготовление известкового молока. На фиг. 258 показано расположение баков с рабочими растворами и дозирующих бачков на втором этаже станций.

На фиг. 259 показано расположение баков для коагулянта и хлорной извести и дозирующих бачков на одной из станций.

Баки для приготовления крепких растворов расположены здесь выше каждого из двух баков рабочих растворов. Баки для коагулянта оборудованы мешалками.

Приготовлению растворов хлорной извести, применяемых лишь во время перебоев в работе хлораторов, и особенно приготовлению растворов извести, применяемых часто в течение нескольких дней или недель во время паводка, здесь не уделено должного внимания, почему процесс обработки воды в этот небольшой период времени может быть тяжелым для эксплуатации.

Приготовление известкового молока независимо от расположения баков для растворения коагулянта лучше вести внизу, особенно в тех случаях, когда известкование в процессе коагуляции может играть существенную роль.

На фиг. 260 представлена установка для приготовления и дозирования известкового молока для средней станции обработки питьевой воды. Установка состоит из верхнего бака, куда загружается известковое тесто, и двух баков с мешалками, при работе которых получается хорошо перемешанное относительно однородное известковое молоко. Каждый из нижних баков работает поочередно и рассчитан примерно на 4-часовую работу.

Известковое молоко подается насосом в количестве, несколько превышающем потребность, в небольшой бачок с переливом, расположенный на соответствующей высоте. Переливающееся известковое молоко вновь поступает в нижний бак, а постоянные дозы извести, обусловленные истечением под одинаковым напором, поступают в смеситель.

Мешалки в нижних баках приводятся в действие поочередно от трансмиссии (на фиг. 260 показано схематично).

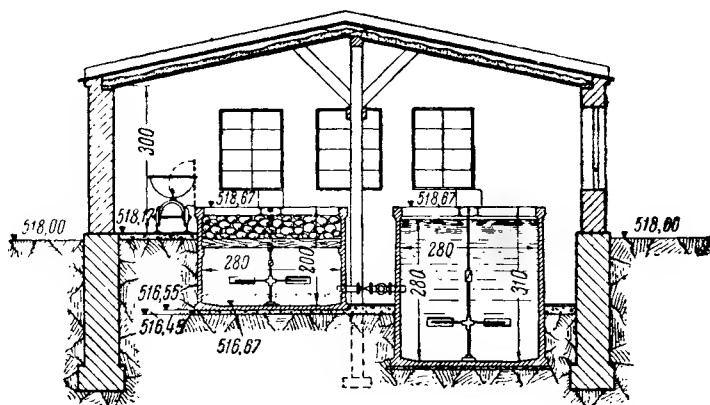
Известковое тесто может заготавливаться в специальной яме и доставляться в нижний этаж в необходимом количестве. При приготовлении известкового молока наверху известковое тесто может туда подаваться подъемником; молоко из бака с рабочим раствором попадает в распределительный бачок, сюда же его можно подавать сифоном.

Коагулянт вводится в воду в небольших сооружениях обычно в виде 5%-ного и редко более слабого раствора; для больших сооружений крепость раствора, считая на безводный глинозем, может быть принята большая и лишь в отдельных случаях доходит до 10%.

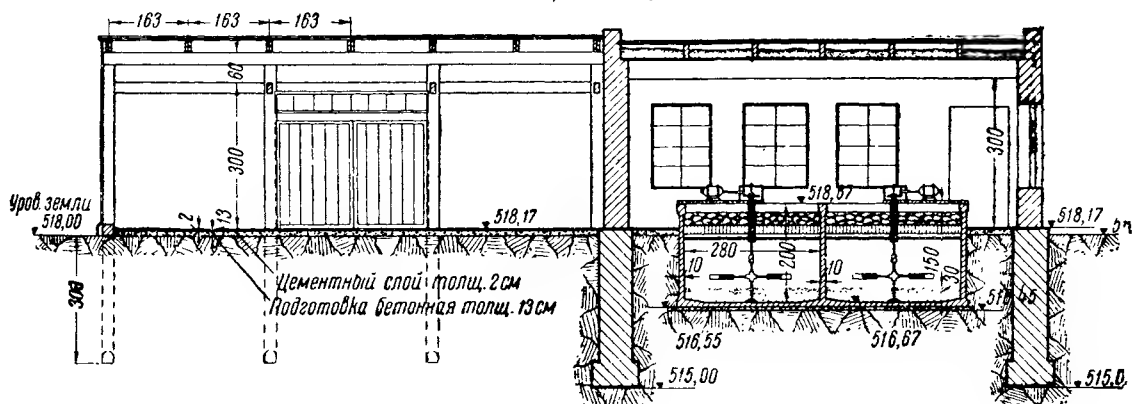
В табл. 4 показаны крепость раствора и процентное содержание глинозема в растворе при температуре раствора 15°.

На станциях малой производительности для приготовления крепкого рас-

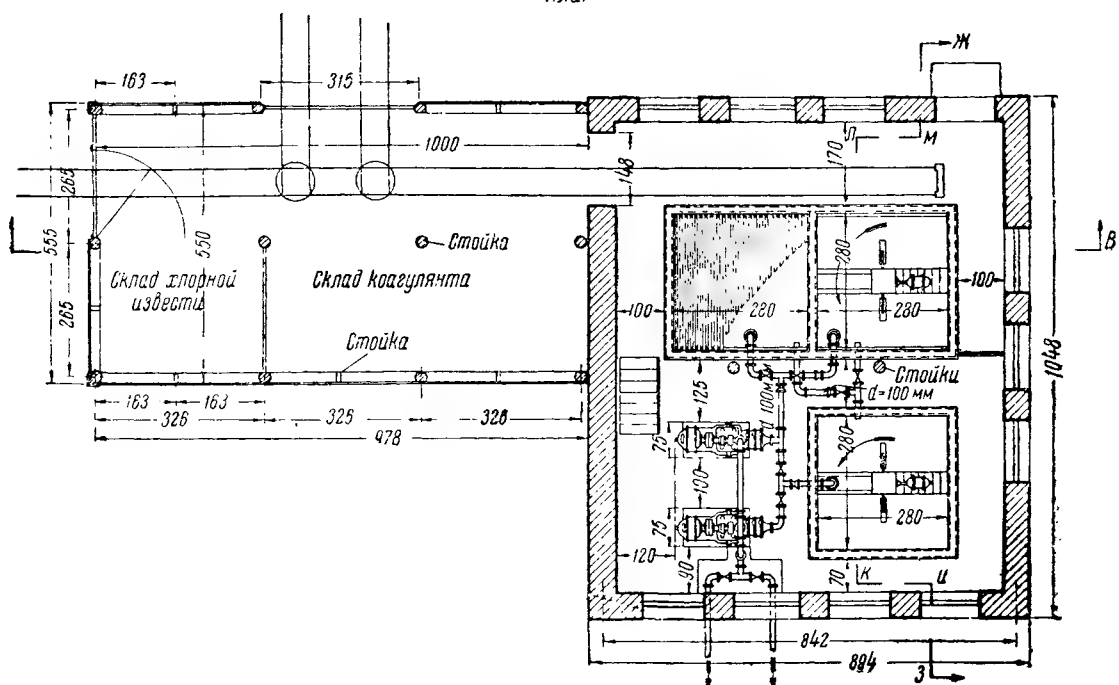
Разрез по Ж-М-Л-К-И-3



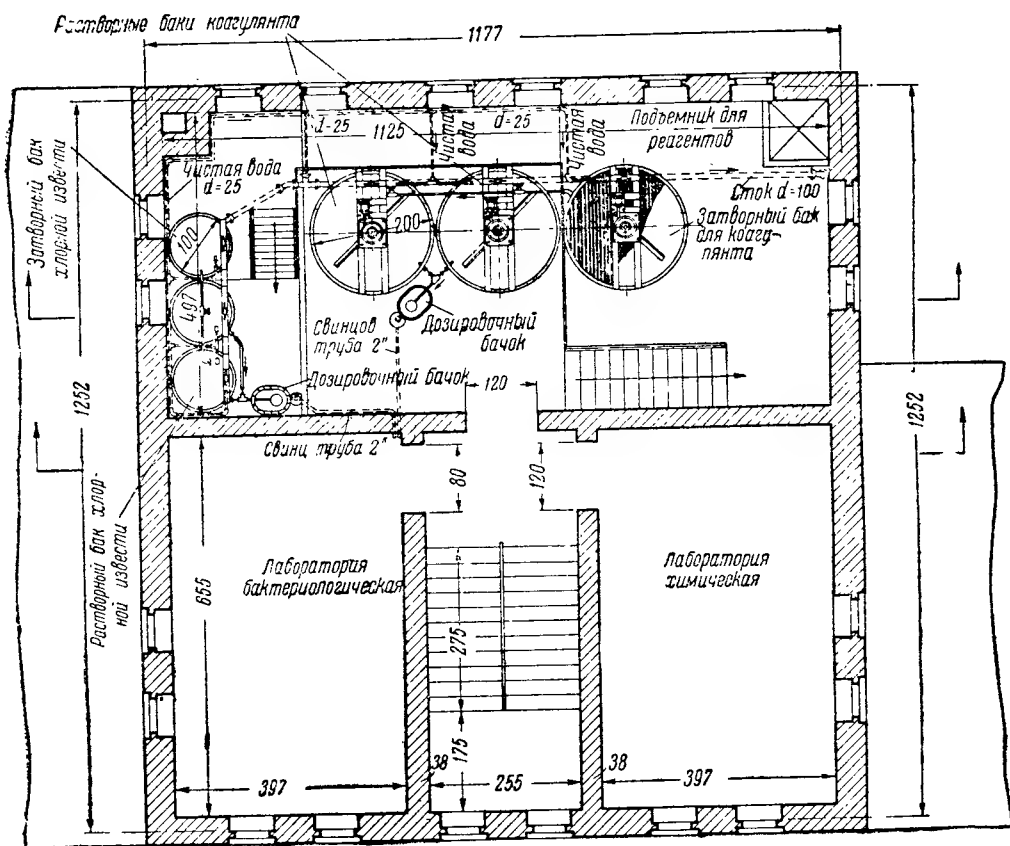
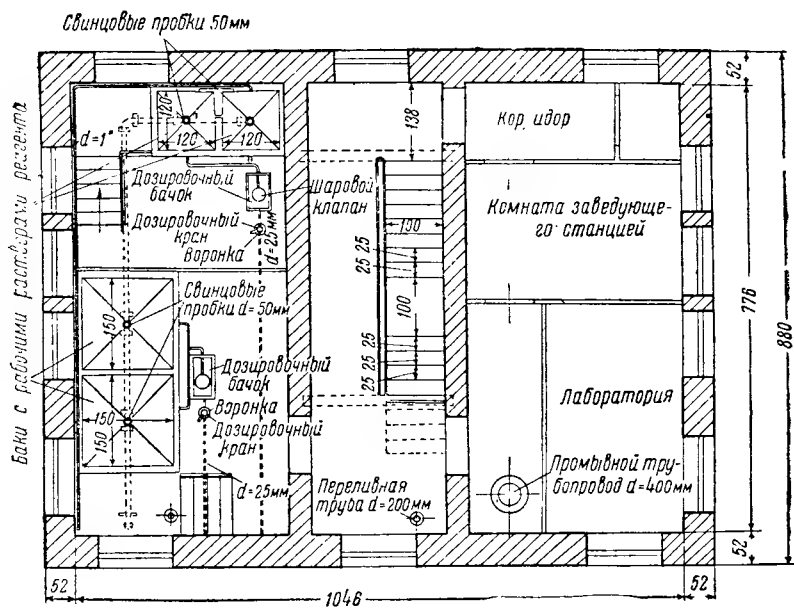
Разрез по А-В



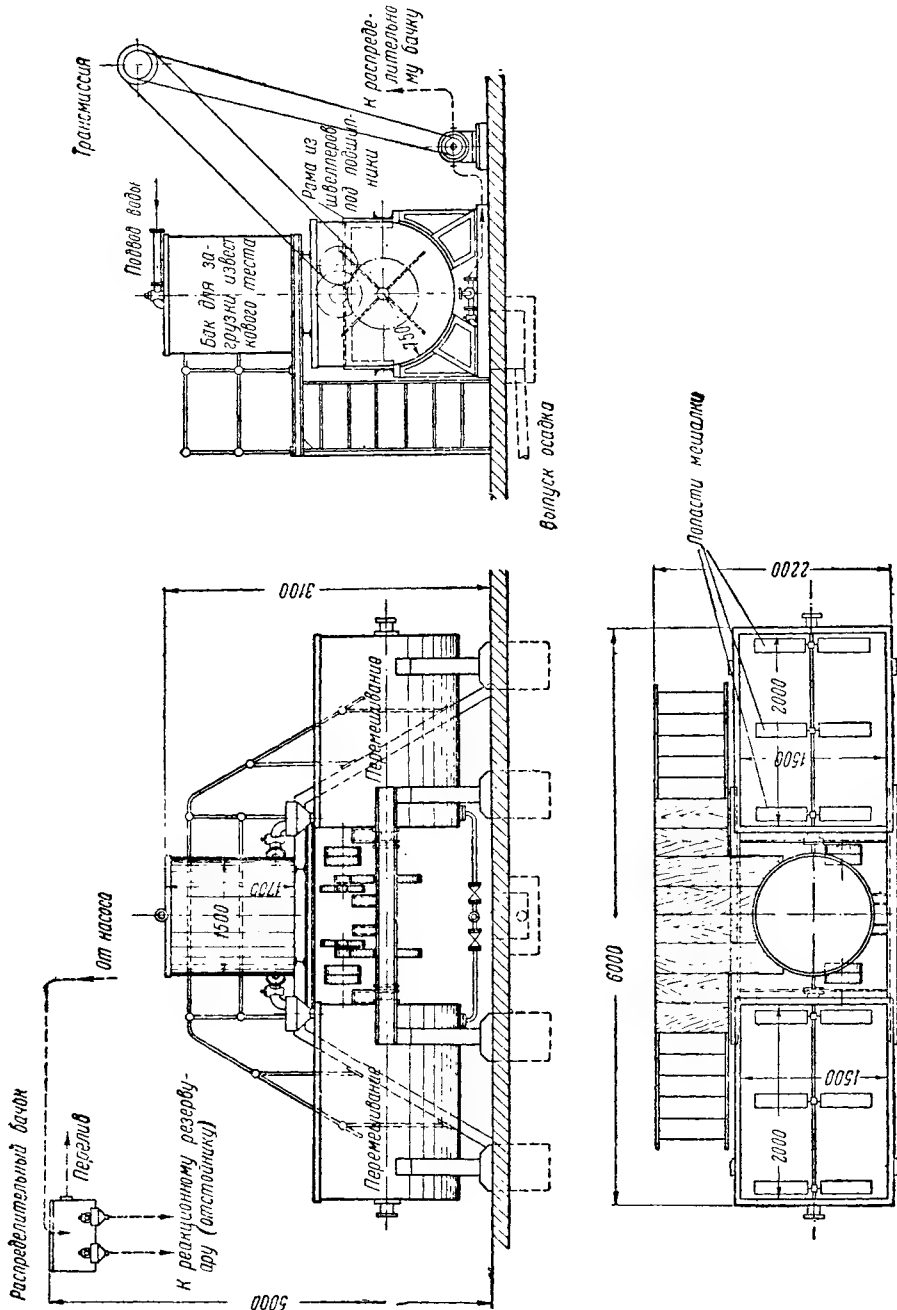
План



Фиг. 257



твора установка для коагулирования обычно выполняется в виде одного бака, расположенного над двумя баками для рабочих растворов (фиг. 261); из этих баков один работает, а в другом готовится раствор и отстаиваются взвесь и имеющиеся в глиноземе нерастворимые примеси.



Фиг. 260

Приготовление рабочего раствора состоит в том, что крепкий раствор перепускается в нижний бак и разбавляется водой до принятой крепости рабочего раствора.

На фиг. 262 показан бак с дырчатым ящиком для растворения глинозема. Н и Д принимаются в зависимости от расчетной емкости. На фиг. 263 показана установка такого бака с дозирующим бачком; в последнем имеется шаровой по-

плавковый кран, регулирующий уровень раствора, идущего через дозирующий кран в воронку и далее к месту введения его в воду. Таким образом, обеспечивается подача постоянного количества раствора независимо от уровня его в баке. При наличии пара или горячей воды, используемой при растворении коагулянта, последнее происходит быстрее, чем при растворении холодной водой.

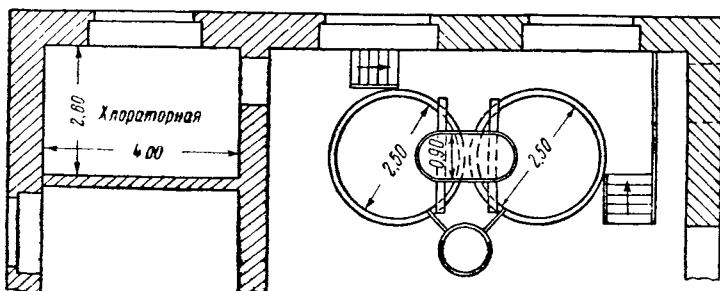
Таблица 4

Процентное содержание глинозема (безводного) в растворе	Крепость раствора в ° Боме
1	1,9
2	3,5
3	4,8
4	5,4
5	6,1

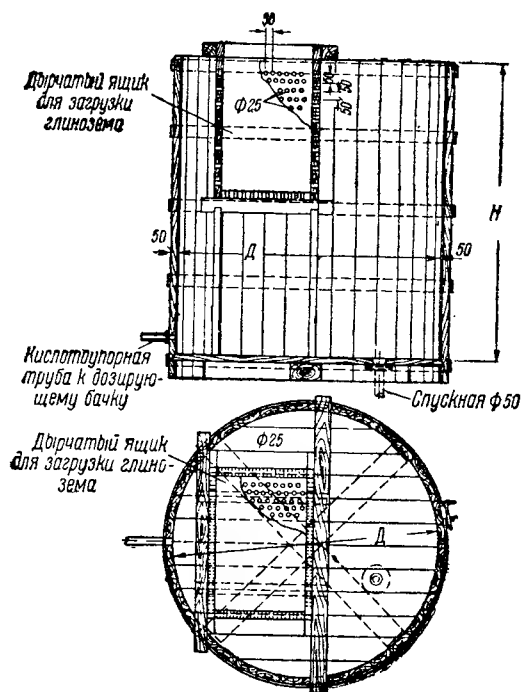
Для перемешивания раствора устраиваются мешалки, а при возможности использования сжатого воздуха растворение в холодной воде и размешивание хорошо осуществляются дутьем его в дренаж бака для растворения; дренаж представляет коллектор и ряд дырчатых свинцовых труб, уложенных параллельно дну бака, ниже деревянной решетки, на которую укладываются куски коагулянта.

При подаче воздуха вода сильно бурлит, хорошо омывает коагулянт и очень быстро его растворяет.

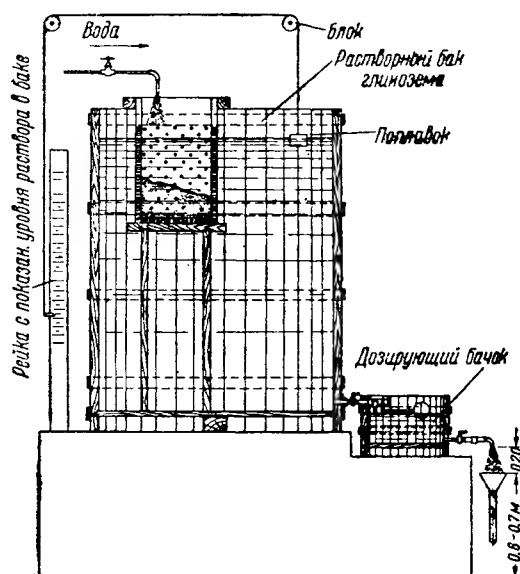
На фиг. 264 показана схема растворения коагулянта сжатым воздухом. Сжатый воздух используется также и для подъема растворов в расположенный выше



Фиг. 264

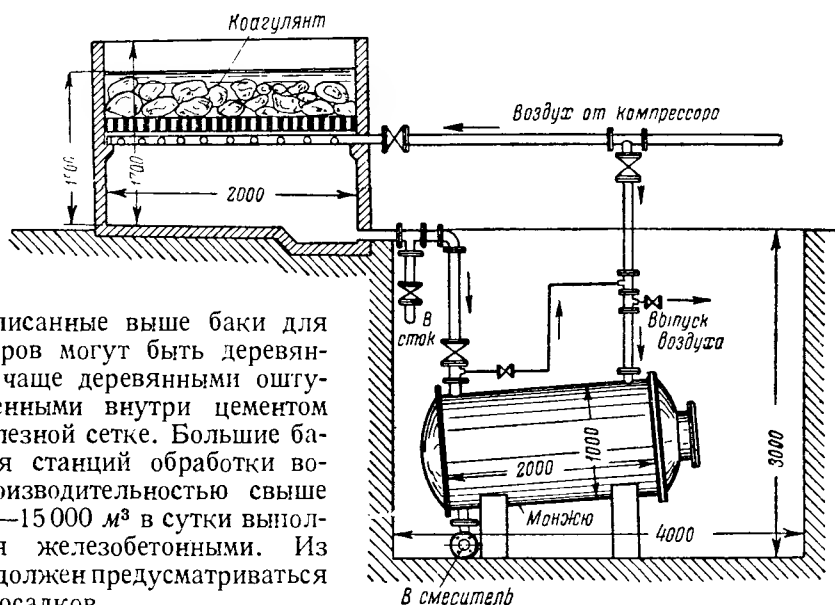


Фиг. 262



Фиг. 263

бак. Глинозем в кусках или предварительно раздробленный при помощи подъемного приспособления разгружается в бак на деревянную решетку; в дырчатую и распределительную сеть подается воздух давлением около 2 ат; вообще давление может быть и меньше. Полученный раствор по свинцовым трубам спускают в герметически закрытый резервуар «Монжю» (может быть выполнен в виде фланцевой трубы соответствующих размеров, покрытой внутри свинцом), откуда давлением воздуха вытесняется вверх. Здесь крепкие растворы (10%) разбавляются водой до получения рабочих растворов (4 — 5%). Размешивание также может производиться с использованием сжатого воздуха. В этом случае воздух нагнетается в ресивер, откуда через редукционный клапан поступает к бакам. Система кранов позволяет осуществлять соответствующие переключения.



Описанные выше баки для растворов могут быть деревянными, чаще деревянными оштукатуренными внутри цементом по железной сетке. Большие баки для станций обработки воды производительностью свыше 10000—15000 м³ в сутки выполняются железобетонными. Из баков должен предусматриваться спуск осадков.

На фиг. 265 представлен дозирующий бачок для раствора глинозема, а на фиг. 266 —

упрощенный кран для дозирующего бачка, который в зависимости от уровня зажимает в большей или меньшей степени резиновую трубку. Кран у бачка может забиваться и его периодически нужно прочищать. На некоторых водопроводах вместо крана устанавливается эбонитовая доска с рядом различных отверстий, закрытых деревянными пробочками. Открывая то или иное отверстие (определяемое предварительным расчетом в соответствии с крепостью раствора и расходом), устанавливают определенную дозу.

Фиг. 264

Расчет баков для приготовления растворов коагулянта

Данные для расчета: производительность станции обработки воды — q м³/ч, a — доза коагулянта в мг/л, b — крепость раствора в процентах, считая на безводный продукт, c — содержание безводного коагулянта в продажном продукте в процентах, n — число заготовок в сутки. Насыпной вес, т. е. вес 1 м³ коагулянта, равен примерно 1000 кг (в зависимости от крупности кусков).

Сначала определяют объем верхнего бака для первоначального растворения:

$$W_k = \frac{q \cdot a \cdot 24 \cdot 100}{1000 \cdot 1000 \cdot n \cdot c}.$$

Полученную емкость несколько увеличивают в зависимости от того, служит ли верхний бак только для первоначального растворения или для при-

готовления крепких растворов и их хранения. Число заготовок можно принять от 1 для малых станций до 3 и даже до 6 (один-два раза в смену) для средних и больших станций; с принимают равным от 45 до 50 для очищенного и около 35 для неочищенного глинозема. Затем определяют объем бака для приготовления рабочих растворов:

$$W_p = \frac{q \cdot a \cdot 24 \cdot 100}{1000 \cdot 1000 \cdot n \cdot b}$$

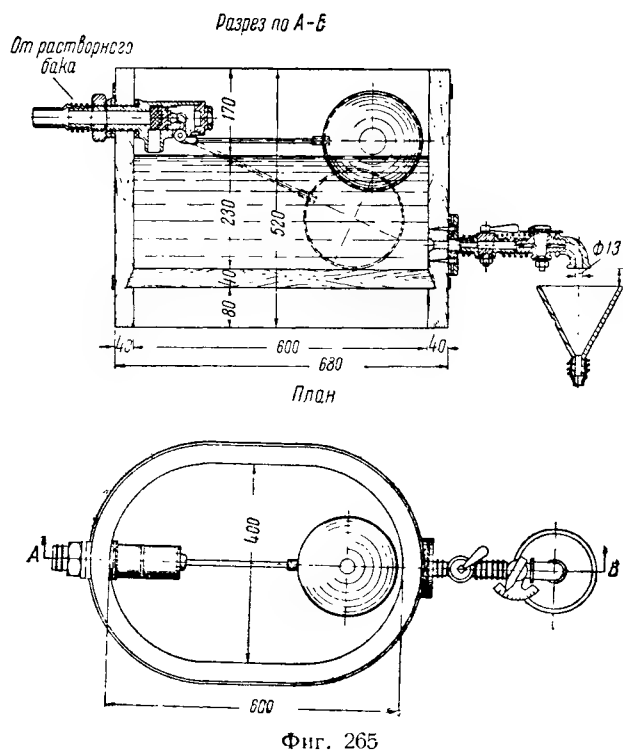
Крепость раствора b обычно принимают равной 5%, для очень малых станций меньше. Увеличение b ведет к усилению разъедающей способности раствора.

Объем баков для растворения соды при подщелачивании воды (обычно 5%-ный раствор) или для приготовления известкового молока определяется так же.

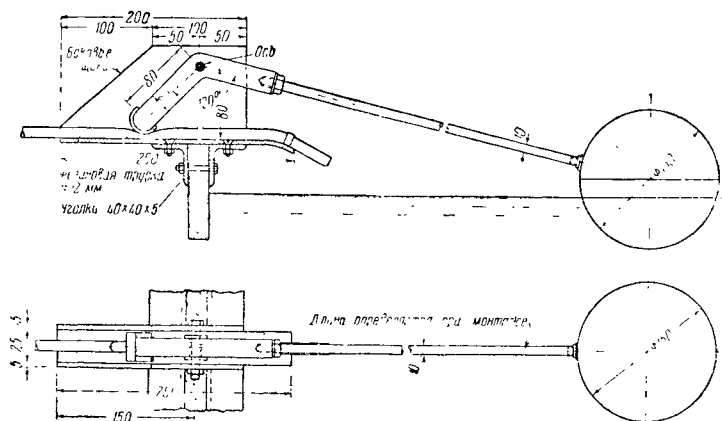
Дозирующий бачок не рассчитывается.

Тип дозирующего бачка для известкового молока можно рекомендовать согласно фиг. 267.

В этом случае для поддержания извести во взвешенном состоянии предусмотрена небольшая пропеллерная мешалка. На фиг. 268 показано простое устройство для дозирования известкового молока; подача известкового молока идет непрерывно; постоянный уровень обеспечивается переливной трубой.

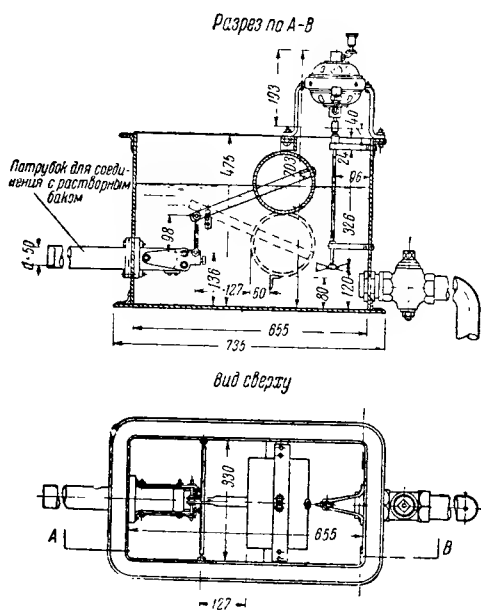


Фиг. 265



Фиг. 266

Для дозирования коагулянта в случае возможного изменения режима подачи воды на станцию обработки в отличие от описанного дозирования, предусматривающего постоянную дозу (изменяемую в случае надобности лишь персоналом станции), можно применить вытеснитель типа содового, широко применяемого



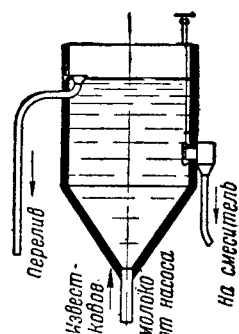
Фиг. 267

гулянта (или иных растворов) и введения их под давлением в трубопровод, подающий воду для обработки. Напорные дозаторы производят дозирование пропорционально расходу подаваемой воды.

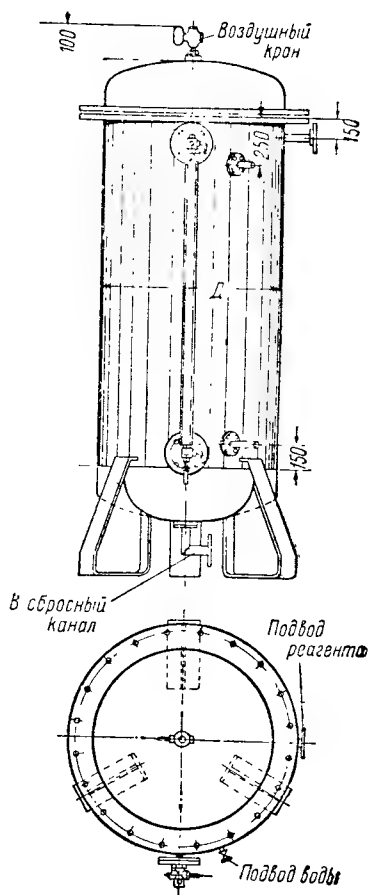
На фиг. 269 представлен напорный шайбовый дозатор. Он состоит из цилиндрического корпуса с приваренным нижним днищем и приваренным фланцем, с которым верхнее днище соединяется болтами, трубки для подвода воды вверх, трубки для отвода растворов реагента вниз, указателя уровня раствора реагента, воздушного краника сверху, опор и т. д. Уровень раствора реагента в дозаторе указывается стеклянным или эбонитовым поплавком, подобранным так, что он тонет в воде и плавает в растворе, т. е. плавает в плоскости раздела внутри водомерного стекла. Шайба или диафрагма устанавливается между фланцами трубопровода, подводящего воду на станцию. Принцип работы дозатора виден из схемы фиг. 270. По обе стороны шайбы при движении воды в трубопроводе создается перепад давления, используемый для вытеснения раствора из дозатора в тот же трубопровод. В дозатор из трубопровода отводится некоторое количество воды от места с большим давлением (перед шайбой), а в трубопровод (за шайбой) поступает из дозатора такое же количество раствора к месту с меньшим давлением. Количество раствора, вытесняемого в трубу, изменяется пропорционально расходу в трубопроводе. Достаточного опыта работы этих дозаторов у нас нет. (Самое вытес-

при умягчении. Дозирование в этом случае может также вполне удовлетворительно осуществляться дозатором, описываемым в разделе «Умягчение воды».

Особое место занимают напорные дозаторы, служащие для дозирования растворов коа-



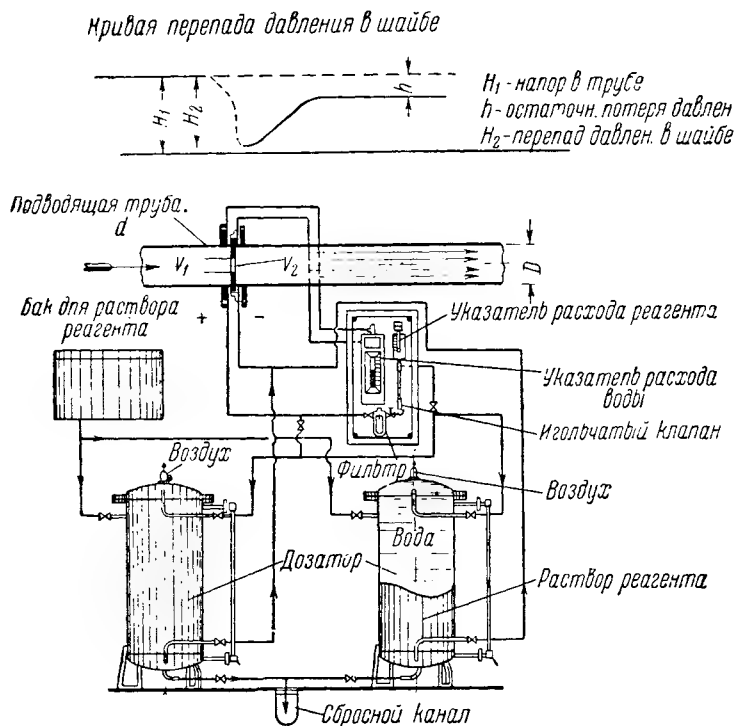
Фиг. 268



Фиг. 269

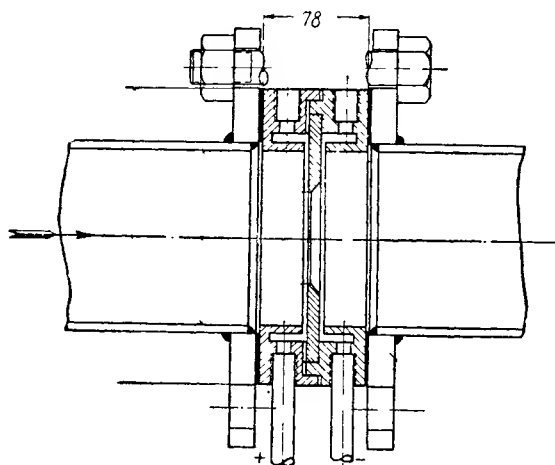
нение растворов коагулянта водой вызывает необходимость некоторого уточнения этого вопроса.)

Наполнение дозатора раствором производится из бака, расположенного выше;



Фиг. 270

в это время воздушный кран открывается, и вода выпускается из дозатора. Во время зарядки одного дозатора работает другой; таким образом, для непрерывного дозирования схема предусматривает установку двух дозаторов. Изменение дозы может производиться изменением крепости раствора или регулированием крана на ответвлении, подводящем воду к дозаторам.



Фиг. 271

Дозаторы изготавливаются для работы под давлением в $1\frac{1}{2}$, 4 и 6 ат.

На фиг. 271 показано включение дроссельной шайбы в трубопровод с давлением не выше 6 ат с камерами для давления плюс и минус (до и после шайбы). Шайбы могут устанавливаться в горизонтальных, вертикальных и наклонных трубопроводах за небольшим прямым участком.

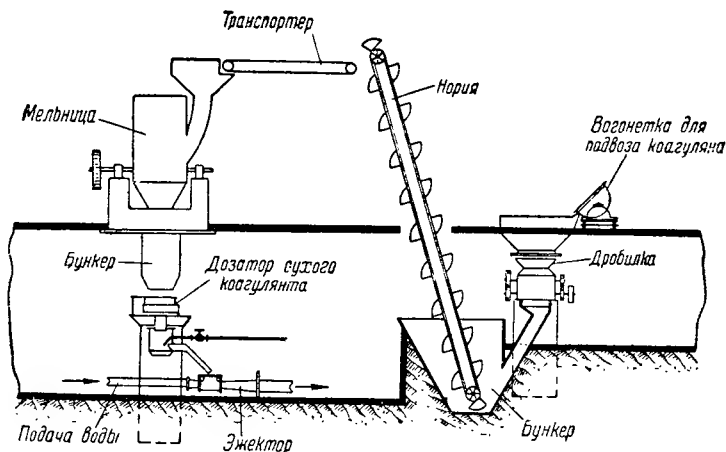
Напорные шайбовые дозаторы могут служить для введения растворов коагулянта в трубопровод непосредственно перед напорными фильтрами.

Сухое дозирование коагулянта. Имеющее место на неко-

торых станциях обработки воды забрасывание кусков коагулянта в смеситель не может дать удовлетворительных результатов, так как вследствие разной крупности кусков, присутствия мелких кусков и пр. имеет место различная их растворимость, т. е. колебание дозы коагулянта (нередко выше необходимой, а иногда ниже). Указанный способ может привести к увеличению расхода коагулянта и неудовлетворительному коагулированию.

В последнее время в США достаточно усовершенствованы и находят все более широкое применение способы сухого питания коагулянтом при помощи особых несложных устройств. Способы сухого питания имеют то преимущество, что устраняют необходимость подготовки, хранения и транспортировки растворов и требуют, следовательно, меньших площадей и объемов, сокращая тем самым стоимость всего сооружения; кроме того, здесь отсутствует разведение коагулянтом трубопроводов и арматуры, часто наблюдаемое и вносящее перебои в работе.

Сухое дозирование постепенно внедряется и в нашей практике. При сухом дозировании муттовский глинозем раздробляется между двумя вращающимися



Фиг. 272

валиками и далее измельчается в мельничном аппарате в мелкие крупинки одинакового диаметра, примерно около 1 мм. На фиг. 272 показана схема устройства для сухого дозирования.

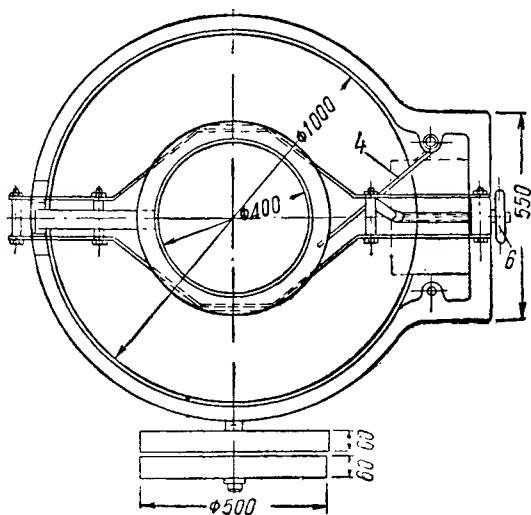
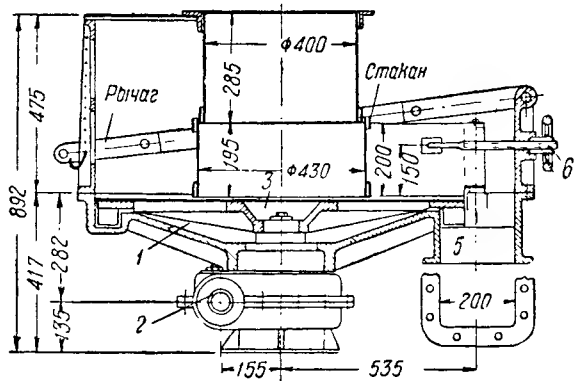
Измельченный глинозем подается в бункер, из него — в питатель; с диска последнего крупинки глинозема отводятся и ссыпаются в смеситель в месте входа воды, т. е. в месте бурного перемешивания ее или, как это показано на схеме, крупинки глинозема попадают в особый эжектор и далее в смеситель. На дробилку глинозем подается периодически после предварительного взвешивания в соответствии с принятой дозировкой; относительно точная дозировка достигается регулированием работы питателя.

Следует обратить внимание не на необходимость бурного перемешивания крупинки коагулянта с водой в начале смесителя, в особенности при отсутствии эжектора. Если конструкция смесителя этого не обеспечит, то не исключена возможность накопления крупинки глинозема в отдельных местах смесителя, что опять-таки приведет к колебаниям дозы коагулянта в обрабатываемой воде.

Сухое питание, как уже сказано, не требует баков для приготовления растворов, на средних и больших станциях обработки воды дает экономию помещения, трубопроводов, насосов для перекачки и т. д. В случае значительных расходов коагулянта сухое дозирование может быть внедрено и в практику водоснабжения на жел.-дор. транспорте. Химмаштрестом освоено производство питателей различного типа и для различных материалов. На фиг. 273 изображен тарелчатый питатель, который может быть приспособлен для сухого дозирования коагулянта.

Тарелчатый питатель состоит из горизонтального вращающегося диска 1 (тарелки), приводимого в движение червячным редуктором 2, расположенным под ним. Измельченный коагулянт ссыпается из небольшого бункера на тарелку через отверстие 3 и с тарелки расположенным под углом неподвижным скребком 4 сбрасывается в отверстие 5. Регулирование производительности питателя осуществляется подъемом стакана при помощи рычага, т. е. увеличением щели между

стаканом и тарелкой или перемещением скребка 4, сбрасывающего коагулянт в большем или меньшем количестве в зависимости от своего положения; перемещение это достигается при помощи винтовой тяги и маховичка 6. (В некоторых устройствах при помощи зубчатки изменяется скорость вращения стола.)



Фиг. 273

При применении «черного коагулянта» доза последнего, достаточная для коагулирования, определилась в 24 мг на 1 л, т. е. в этом случае получалась экономия на коагулянте около 20%.

§ 4. Смешивание реагентов с водой. Смесители

Хорошее смешивание растворов реагентов с водой и притом в течение короткого времени ускоряет действие реагента и приводит к более полному его использованию.

Принципиально допускаются следующие решения при выборе места ввода раствора реагента в обрабатываемую воду:

- 1) реагент вводится во всасывающий трубопровод насоса;
- 2) реагент вводится в напорный трубопровод;
- 3) реагент вводится в специальные сооружения — смесители, предусматриваемые в схеме очистных сооружений.

На фиг. 274 изображен аппарат одной из зарубежных фирм с питающим винтом, приводимым в действие водяной турбинкой Пельтона, вода из которой начинает растворять коагулянт в небольшом смесителе, составляющем с аппаратом одно целое. В небольшом бункере в верхней части аппарата вращаются зубья для того, чтобы дозируемый реагент не слеживался (аппарат изготовляется для различных сыпучих материалов). Регулирование производится изменением скорости вращения колеса турбинки.

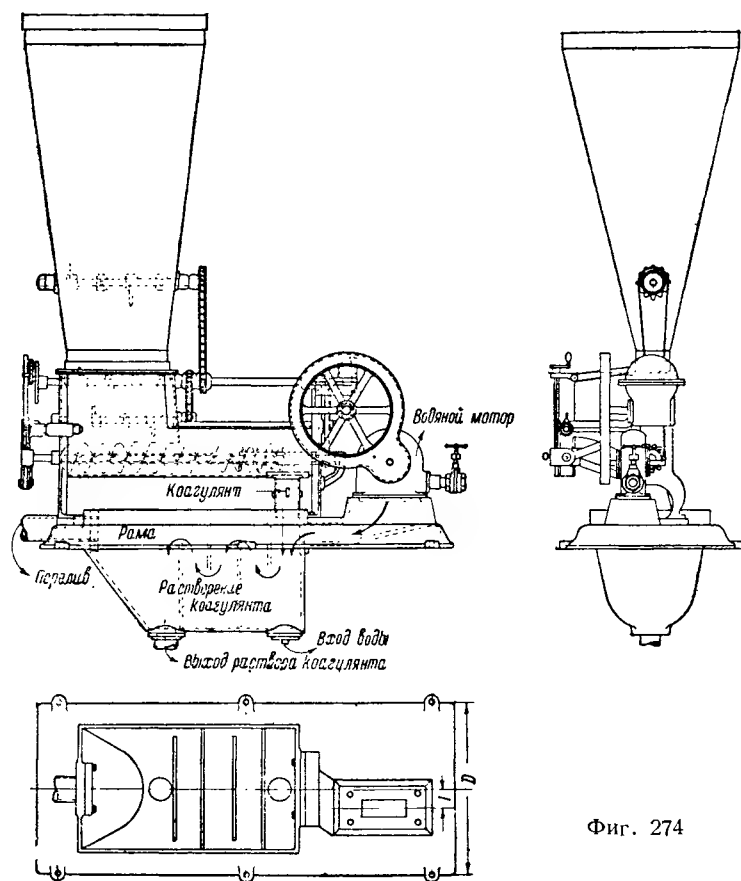
В США известны случаи употребления особого вида коагулянта, который получается при бавлении к сернокислому глинозему 2% активного угля. «Черный коагулянт» испытывался на одном из водопроводов. Здесь речная вода до последнего времени обрабатывалась так: предварительно хлорировалась (0,5—0,6 мг хлора на 1 л), затем коагулировалась сернокислым глиноземом (30 мг/л), далее фильтровалась на скорых фильтрах и, фильтрованная, опять подвергалась хлорированию (доза хлора 0,12—0,14 мг/л).

Первое решение применяется сравнительно редко и хотя гарантирует очень хорошее смешивание (в этом смысле например рабочее колесо центробежного насоса — прекрасная мешалка), но обладает существенными недостатками:

а) при недосмотре не исключена возможность попадания воздуха во всасывающий трубопровод насоса;

б) дозирование затрудняется при наличии нескольких насосов, работающих не в один общий напорный трубопровод;

в) процесс обработки воды расчленяется (насосная установка, очистные сооружения). Последнее обстоятельство делает возможным введение реагентов во



Фиг. 274

всасывающий трубопровод лишь на небольших установках. В частности на жел.-дор. транспорте эта схема может быть использована при хлорировании воды, если этим и ограничивается весь процесс ее обработки. При этом установка для хлорирования располагается в помещении насосной станции.

Второе решение требует, чтобы реагент подавался в трубопровод под давлением, превышающим давление в трубопроводе. Это может достигаться установкой специального насоса или соответственно высоким расположением дозирующих устройств над местом ввода реагента.

Указанные обстоятельства приводят к сравнительно редкому использованию названной схемы. Смешивание в напорном трубопроводе при достаточно больших скоростях может быть вполне удовлетворительным.

К числу специальных сооружений — смесителей относятся:

- 1) труба типа Вентури;
- 2) смеситель стаканчатого типа;
- 3) жолоб-смеситель;

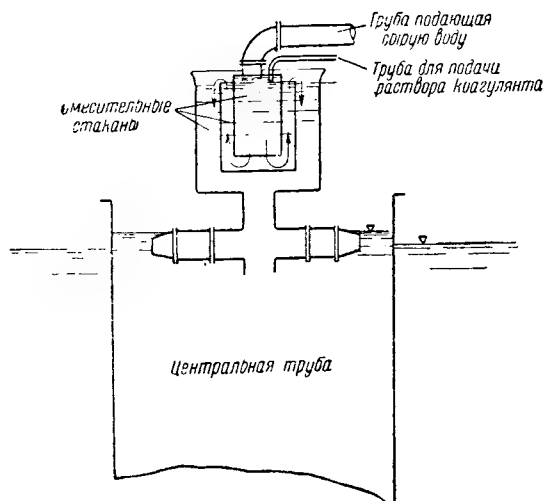
- 4) ершовый смеситель;
- 5) дырчатый смеситель;
- 6) смеситель типа «гидравлический прыжок»;
- 7) пропеллерный смеситель.

При использовании трубы Вентури в качестве смесителя реагент подается в суженную часть ее, где скорость движения воды значительна — 2,5—3 м/сек; это и приводит к смешиванию реагента с водой. Для обычных небольших станций жел.-дор. водоснабжения указанный смеситель может быть запроектирован.

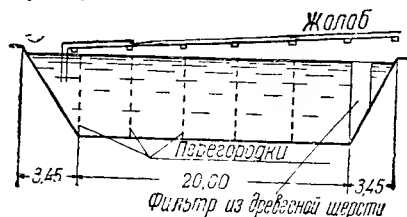
Смеситель стаканчатого типа, изображенный на фиг. 275, представляет собой ряд вставленных друг в друга цилиндров, вызывающих вследствие своего расположения сильные вихревые движения воды; проектируется редко и притом для небольших установок.

Жолоб-смеситель, представленный на фиг. 276, принят для умягчительной установки «Струя горизонтальная». Скорость движения воды в жолобе не менее 0,6—0,7 м/сек; смешивание удовлетворительное. В последнее время вся установка в целом не проектируется.

Ершовый смеситель представляет лоток, в котором помещено несколько перегородок, расположенных под углом 45° к продольным его стенкам (фиг. 277). Перегородки эти не доходят до про-



Фиг. 275



Фиг. 276

тивоположной стенки лотка и образуют здесь вертикальную щель. Указанное расположение перегородок вызывает в потоке воды у щелей ряд вихрей.

Р а с ч е т. Скорость движения воды в лотке за перегородками 0,5—0,6 м/сек; скорость движения воды в щели 0,8—1,0 м/сек. Расчет сводится к определению размеров лотка, ширины щелей и к проверке отметок воды в лотке перед каждой щелью.

При определении местных сопротивлений в щели коэффициент сопротивления принимается равным 2—2,5 для движения воды в направлении перегородок и 3—3,5 — для движения в противоположном направлении.

Целесообразнее проектировать ершовый смеситель с движением воды в направлении, противоположном расположению перегородок, так как в этом случае имеют место более сильные вихревые движения и лучшее смешивание.

Пусть количество воды и растворов, попадающих в смеситель, q_1 м³/сек, тогда площадь живого сечения лотка

$$F = \frac{q_1}{v} \text{ м}^2,$$

где $v = 0,5—0,6$ м/сек.

Принимаем ширину лотка равной a м, тогда

$$h_6 = \frac{F}{a} \text{ м}.$$

Потери на местные сопротивления в каждой щели равны

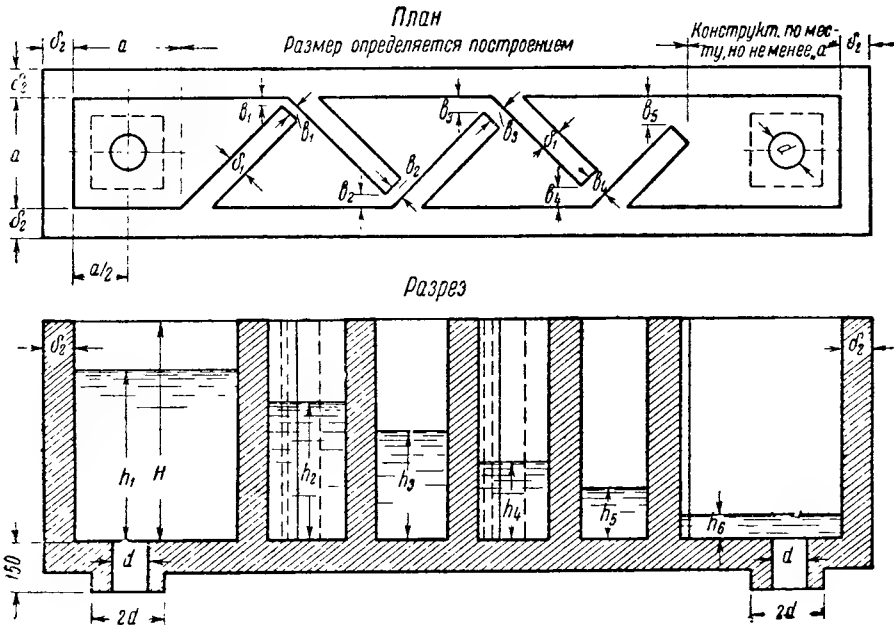
$$k = \xi \frac{v_1^2}{2g} \text{ м},$$

где ξ — коэффициент сопротивления;

v_1 — скорость движения воды в щели, равная 0,8—1 м/сек.

Площадь живого сечения щели

$$f = \frac{q_1}{v_1} \text{ м}^2;$$



Фиг. 277

ширина последней щели b_5 равна $\frac{f}{h_6 + k}$;

ширина предпоследней щели b_4 равна $\frac{f}{h_6 + 2h}$ и т. д.;

ширина первой щели b_1 равна $\frac{f}{h_6 + nh}$, где n — число щелей или перегородок;

высота воды в лотке перед последней щелью h_5 равна $h_6 + h$;

высота воды в лотке перед предпоследней щелью h_4 равна $h_6 + 2h$;

высота воды в лотке перед первой щелью h_1 равна $h_6 + nh$.

Ершовый смеситель дает вполне удовлетворительное смешивание и поэтому весьма распространен. Для небольших расходов смеситель выполняется из стали, для больших расходов — из стали или железобетона.

В табл. 5 приводятся основные данные и размеры одного из типовых ершовых смесителей¹.

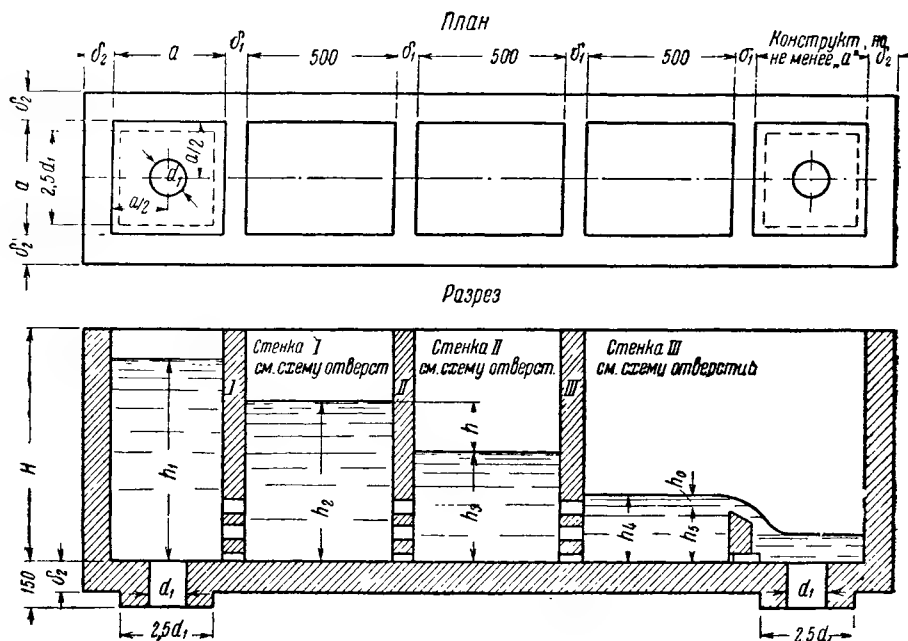
Дырчатый смеситель (фиг. 278) представляет лоток, в котором помещено несколько поперечных перегородок с отверстиями. Движение струи воды через отверстия способствует образованию вихрей и смешиванию воды с реагентами, поступающими в смеситель.

¹ Госпроектстрой НКЛП.

Таблица 5

Q м ³ /ч	q л/сек	d труб при $V_{тр} \approx 1,0$ м/сек	a	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	H	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	δ_1	δ_2
100	27,76	200	450	68	80	100	130	188	650	513	431	348	267	185	103	60	80
150	41,64	250	550	98	115	140	181	247	650	533	451	369	287	205	123	60	100
200	55,52	250	550	120	139	167	207	275	700	581	499	417	335	253	171	60	100
250	69,40	300	600	145	167	199	245	316	750	602	520	438	356	274	192	60	100
300	83,28	300	600	162	187	220	265	335	750	640	558	476	394	312	230	60	100
350	97,16	350	650	185	210	250	295	370	800	662	580	498	416	334	252	80	100
400	111,04	350	700	205	230	268	320	392	800	680	598	516	434	352	270	80	100
450	124,92	400	800	233	265	308	368	455	800	670	588	506	424	342	260	80	100
500	138,80	400	900	260	297	340	410	510	800	666	584	502	420	338	256	80	120
600	180,44	500	1 000	300	344	400	470	580	850	688	606	524	442	360	278	80	120

Р а с ч е т. Скорость движения воды в лотке 0,5 — 0,6 м/сек; скорость движения воды в отверстиях 1 — 1,5 м/сек. Расчет сводится к определению размеров



Фиг. 278

лотка, размеров и числа отверстий в перегородках и к проверке отметок воды в лотке перед каждой перегородкой.

Количество воды и растворов, попадающих в смеситель, q_1 м³/сек. Площадь живого сечения лотка

$$F = \frac{q_1}{v} \text{ м}^2,$$

где $v = 0,5 — 0,6$ м/сек.

Принимаем ширину лотка равной a м, тогда

$$h_4 = \frac{F}{a} \text{ м}.$$

Потери напора в отверстиях в каждой дырчатой перегородке равны

$$h = \frac{v_1^2}{\mu^2 \cdot 2g},$$

где v_1 — скорость движения воды в отверстиях, равная $1 — 1,5$ м/сек;

μ — коэффициент расхода, равный 0,62 или несколько более, если толщина стенки значительна по сравнению с диаметром отверстия.

Площадь всех отверстий в каждой перегородке

$$\Omega = \frac{q_1}{v_1} \text{ м}^2.$$

Принимаем число отверстий равным n .

Имеем

$$n \cdot \frac{\pi d^2}{4} = \Omega,$$

откуда определяется d — диаметр отверстия.

Высота h_3 воды в лотке перед последней перегородкой равна $h_4 + h$, высота h_2 воды в лотке перед предпоследней перегородкой равна $h_4 + 2h$; высота h_1 воды в лотке перед первой перегородкой равна $h_4 + 3h$.

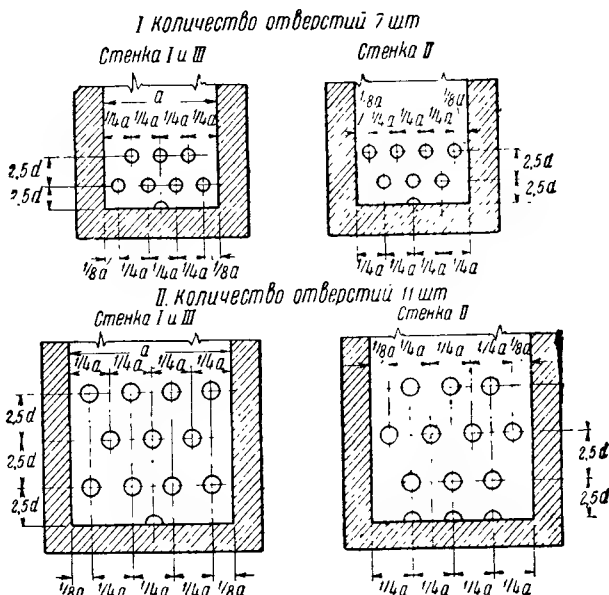
Число перегородок 3—4.

Расположение отверстий и отметки воды в лотке должны быть такими, чтобы все отверстия последней перегородки были затоплены. Для достижения этого за последней перегородкой следует устраивать водослив необходимой высоты.

На фиг. 279 показаны примерные схемы расположения отверстий в перегородках дырчатого смесителя.

Дырчатый смеситель

может обеспечить достаточно удовлетворительное смешивание. При известковании воды его применять не следует.



Фиг. 279

Табл. 6 характеризует основные размеры и данные по ряду смесителей рассматриваемого типа¹ для станций с часовым расходом от 100 до 600 м³.

Таблица 6

Расход в м ³ /ч	Расход в л/сек	Диаметр трубы в мм при $v_{тр} \approx 1,0$ м/сек	Диаметр отверстия в мм	Число отверстий	h	h_0	h_2	h_4	h_3	h_2	h_1	H	a	δ_1	δ_3
Q	q	d_1	d	n											
100	27,76	200	58	7	273	95	250	345	618	891	1164	1300	500	60	Может быть определено по статическому расчету
150	41,64	250	71	7	273	112	300	412	685	958	1231	1400	600	80	
200	55,52	250	82	7	273	122	350	472	745	1018	1291	1400	650	80	
250	69,40	300	92	7	273	131	400	531	804	1077	1350	1500	750	80	
300	83,28	300	100	7	273	145	400	545	818	1091	1364	1500	800	100	
350	97,16	350	86	11	273	162	400	562	835	1008	1381	1500	800	100	
400	111,04	350	92	11	273	178	400	578	851	1124	1397	1500	800	100	
450	124,92	400	98	11	273	178	400	578	851	1124	1397	1500	900	100	
500	138,80	400	102	11	273	188	400	588	861	1134	1407	1550	900	100	
600	180,44	500	113	11	273	210	450	660	933	1206	1479	1550	900	100	

Указанные смесители для небольших расходов выполняются из стали, для больших — из железобетона.

Смеситель типа «гидравлический прыжок». В практике обработки воды применяется также смешение реагента с водой, подаваемой на очистные сооружения, основанное на принципе «гидравлического прыжка».

При выходе воды из-под щита под некоторым напором создаются большие скорости и большая турбулентность, что способствует перемешиванию вводимого сюда реагента, а самый прыжок «валек» завершает это перемешивание.

Как представлено на фиг. 280, вода из бака А изливается из-под щита непосредственно в лоток нормального уклона. Такое истечение из-под щита представляет необходимое условие для стремительного движения, создающего прыжок. Реагент подается или одной струей или дырчатой трубой, распределяющей его по ширине лотка.

Глубина воды h_0 в лотке за прыжком несколько меньше h_2 . В расчете обычно принимается

$$h_0 = h_2 - (0,03 - 0,05) \text{ м.}$$

Расчет. Если q_1 — расход воды в м³/сек, b — ширина лотка в м, то расход на единицу ширины щита будет

$$q'_1 = \frac{q_1}{b} \text{ м}^3/\text{сек.}$$

¹ Госпроектстрой НКЛП.

Для обеспечения лучшего смешивания обычно задаются таким напором H перед щитом, чтобы скорость непосредственно за ним была в пределах 2,5—4,5 м/сек.

Расход из-под щита

$$q_1 = \mu b a \sqrt{2g \left(H - \frac{a}{2} \right)},$$

или расход на единицу ширины

$$q_1' = \mu a \sqrt{2g \left(H - \frac{a}{2} \right)},$$

где a — высота открытия щита или высота щели;

μ — коэффициент расхода.

По значению a , учитывая коэффициент вертикального сжатия, равный примерно 0,7, можно определить h_1 :

$$h_1 = 0,7a = f(q_1').$$

Пользуясь формулой сопряженных глубин (до и после прыжка), определяют¹

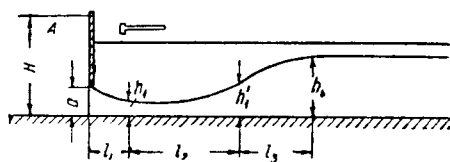
$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{8\alpha q_1'^2}{gh_1^3}} - 1 \right);$$

так как

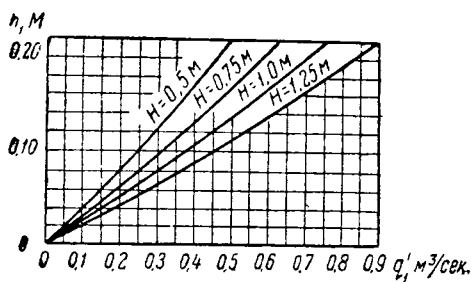
$$q_1' = \varphi h_1 \sqrt{2g(H - h_1)},$$

где φ — коэффициент скорости, принимаемый около 0,9,

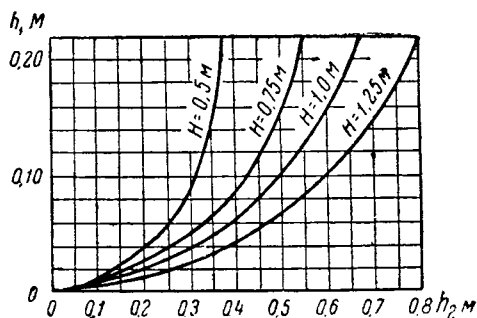
$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{8\alpha \varphi^2 h_1^2 2g(H - h_1)}{gh_1^3}} - 1 \right],$$



Фиг. 280



Фиг. 281



Фиг. 282

что при подстановке значений коэффициента $\alpha = 1,1$ и $\varphi = 0,9$ дает

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{14,2(H - h_1)}{h_1}} - 1 \right],$$

¹ Проф. Б. О. Ботук. Журнал «Санитарная техника» № 8, 1934.

или

$$h_2 = \psi h_1.$$

На основании расчетов прыжка в гидравлике можно принять длину участка $l_1 \approx 2h_1$, длину l_2 «отгон прыжка» — в пределах 1—1,5 м; длину l_3 приближенно принимают равной $5(h_0 - h_1)$.

По величине $h_0 = h_2 - (0,03 - 0,05)$ м и ширине канала b определяется модуль расхода K и уклон канала $i = \frac{q_1^2}{K^2}$.

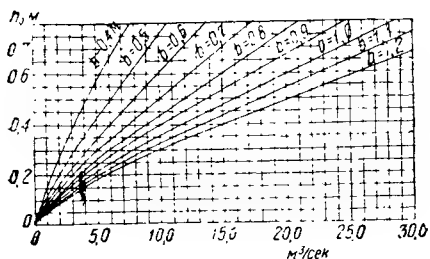
Для облегчения расчета на фиг. 281, 282 и 283 приводятся графики $h_1 = j(q_1)$, $h_2 = \psi(h_1)$ и K в зависимости от h_0 и b .

Пример. $Q = 200$ м³/ч. Требуется рассчитать прыжок смесителя. Принимаем $H = 500$ мм.

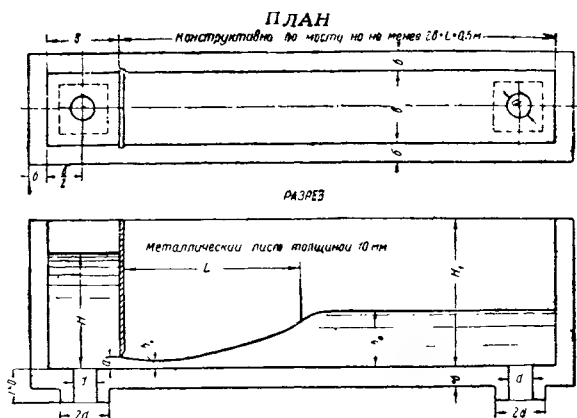
Учитывая величину диаметра трубы, подводящей воду к гидравлическому прыжку, равную 250 мм, принимаем $b = 550$ мм, тогда

$$q_1 = \frac{200}{3600} = 0,056 \text{ м}^3/\text{сек};$$

$$q_1' = \frac{200}{3600 \cdot 0,55} = 0,10 \text{ м}^3/\text{сек};$$



Фиг. 283



Фиг. 284

h_1 равно (по графику фиг. 281) 0,04 м;

h_2 равно (по графику фиг. 282) 0,23 м;

$$h_0 = h_2 - 0,03 = 0,2 \text{ м};$$

K равно (по графику фиг. 283) 2,2 м³/сек;

$$i = \frac{0,056^2}{2,2^2} = 0,0007.$$

$$L = l_1 + l_2 + l_3 = 2h_1 + 1 + 5(h_0 - h_1) = 0,08 + 1 + 5 \cdot 0,16 = 1,88 \text{ м}.$$

Скорость перед прыжком

$$v = \frac{q_1'}{h_1} = \frac{0,1}{0,04} = 2,5 \text{ м}.$$

На фиг. 284 приведена одна из схем смесителя типа «гидравлический прыжок»¹.

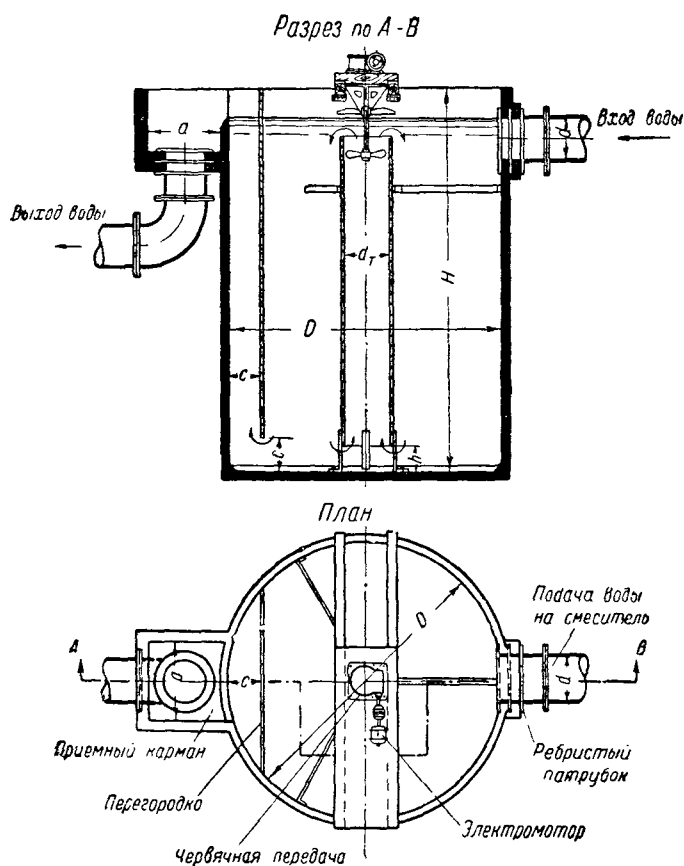
В табл. 7 даны ориентировочные данные по смесителям для расходов от 100 до 600 м³/ч.

Пропеллерный смеситель. На фиг. 285 изображен пропеллерный смеситель, имеющий небольшое распространение. При очень малом времени

¹ Госпроектстрой НКДП

Таблица 7

Q в м ³ /ч	q в л/сек	d труб в мм	b в мм	H в мм	h_0 в мм	h_1 в мм	a в мм	L в мм	H_1 в мм	b в мм
100	27,76	200	450	500	130	23	33	2 070	800	80
150	41,64	250	550	500	160	30	43	2 260	800	80
200	55,52	250	550	500	180	38	54	2 200	800	80
250	69,40	300	600	500	190	40	57	2 330	800	100
300	83,28	300	600	500	230	55	80	2 490	800	100
350	97,16	350	650	500	240	58	83	2 560	800	100
400	111,04	350	650	500	250	60	86	2 520	800	100
450	124,92	400	800	500	250	65	94	2 550	800	100
500	138,80	400	800	500	250	70	100	2 540	800	100
600	166,67	500	900	500	260	73	102	2 600	800	100



пребывания в нем воды (порядка десятков секунд) его можно рассматривать как смеситель, но известны случаи, когда такой смеситель проектируется для времени пребывания в нем 3 мин. и более, и тогда это уже собственно не смеситель, так как он занимает среднее место между смесителем и камерой образования хлопьев (для опорожнения смесителя должна быть предусмотрена спускная труба).

На фиг. 286 показан смеситель напорного типа с вращающимися лопастями.

Пропеллерные смесители могут быть расположены последовательно (при введении двух реагентов).

Смесители размещаются так, чтобы к ним возможен был свободный доступ.

§ 5. Камеры образования хлопьев

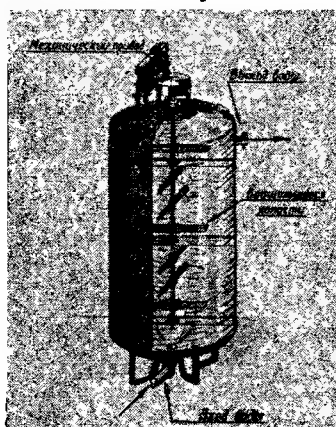
(камеры реакции)

А. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Медленное образование хлопьев в отстойниках может привести к выносу значительного числа хлопьев коагулянта на фильтр, к быстрому загрязнению фильтра, к прохождению через него части коагуляционного вещества, к ухудшению физических свойств воды и т. д.

Назначение камер образования хлопьев (камер реакции) — дать законченное хлопьеобразование до поступления воды в отстойник.

В табл. 8 представлены результаты одного лабораторного исследования при отстаивании воды мутностью 75 мг/л при температуре 16°.



Фиг. 286

Таблица 8

Время смешивания и образования хлопьев в мин.	Мутность в мг/л после отстаивания в течение		
	30 мин.	1 часа	3 час.
0	75,0	74,0	54,0
5	47,0	33,0	24,0
10	11,5	7,5	4,5
15	4,0	3,2	2,4
20	1,7	1,7	1,2
30	0,7	0,7	0,6
40	0,6	0,5	0,5

Как видно из табл. 8, при времени пребывания воды в камере образования хлопьев, равном 10 мин., мутность воды равна 4,5 мг/л лишь после 3-часового отстаивания, в то время как при 15 мин. пребывания воды в камере мутность в 4 мг/л получается уже при получасовом отстаивании.

Применяемый термин «камера реакции» смешивают часто с термином «смеситель». Назначение камеры реакции создать условия для образования крупных хлопьев и потому правильнее ее назвать «камерой образования хлопьев». В смесителях же происходит бурное перемешивание растворов реагентов с водой, после чего вскоре образуются очень мелкие хлопья; более крупные наблюдаются примерно через 20 мин.

Б. ТИПЫ КАМЕР ОБРАЗОВАНИЯ ХЛОПЬЕВ

1. Камеры с перегородками

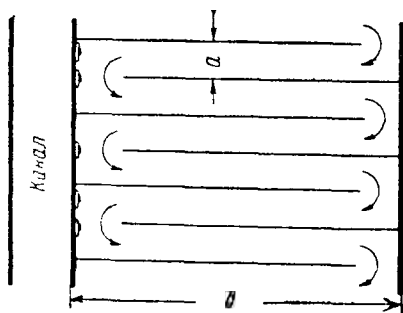
Камеры с перегородками делятся на камеры с горизонтальным и камеры с вертикальным (основным) движением воды.

На фиг. 287 представлена схема камеры с горизонтальным движением вокруг перегородок, установленных вертикально. Скорость движения воды в такой камере находится в пределах 0,2 — 0,3 м/сек.

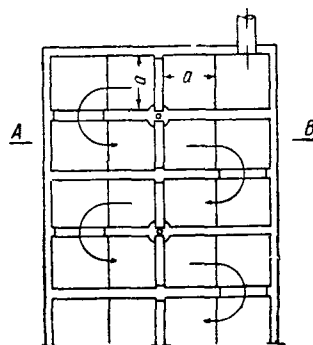
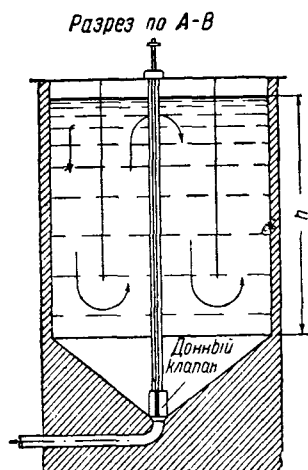
Так как при значительных колебаниях расхода имеют место значительные колебания скоростей, то камеры с горизонтальным движением воды проектируются лишь для больших станций обработки воды, где в этих случаях скорость может регулироваться включением или выключением отдельных секций. Камеры эти рекомендуются лишь для больших расходов воды, на жел.-дор. транспорте они поэтому не могут найти применения.

На фиг. 288 представлена схема камеры образования хлопьев с вертикальным движением воды. Глубина камеры принимается чаще в пределах 4—5 м. Эти камеры могут проектироваться для станций обработки воды с расходом примерно не ниже 6 000 м³ в сутки. Скорости здесь такие же, как и в камерах с горизонтальным движением воды. Конструктивное оформление таких камер сложнее, — это одна из причин их малого распространения.

Время образования хлопьев или время пребывания воды в камерах 20—40 мин. Камеры с достаточным временем пребывания в них воды должны дать эко-



Фиг. 287



Фиг. 288

номии коагулянта и, кроме того, облегчая работу отстойников, они позволяют уменьшить время пребывания в них воды.

К сожалению, зависимость между указанными столь важными факторами пока не установлена. Спуск осадков производится в камерах с горизонтальным движением воды через боковые выпуски, а в камерах с вертикальным движением воды — через донные клапаны, общие для нескольких ячеек.

Очистка камер с вертикальным движением воды представляет некоторые трудности и в этом — другая причина их малого распространения.

На фиг. 289 представлена камера образования хлопьев с вертикальным движением воды. На фиг. 290 показана площадка управления камеры, позволяющая осуществлять уход и контроль за ее работой.

Расчет. Основными элементами в расчете камер с перегородками являются:

- Q — расход станции обработки воды в м³/ч;
- t — время пребывания воды в камере в часах;

v — скорость движения воды в м/сек;
 h — глубина камеры в м;
 a — расстояние между перегородками в м (ширина коридора);
 l — длина коридора.

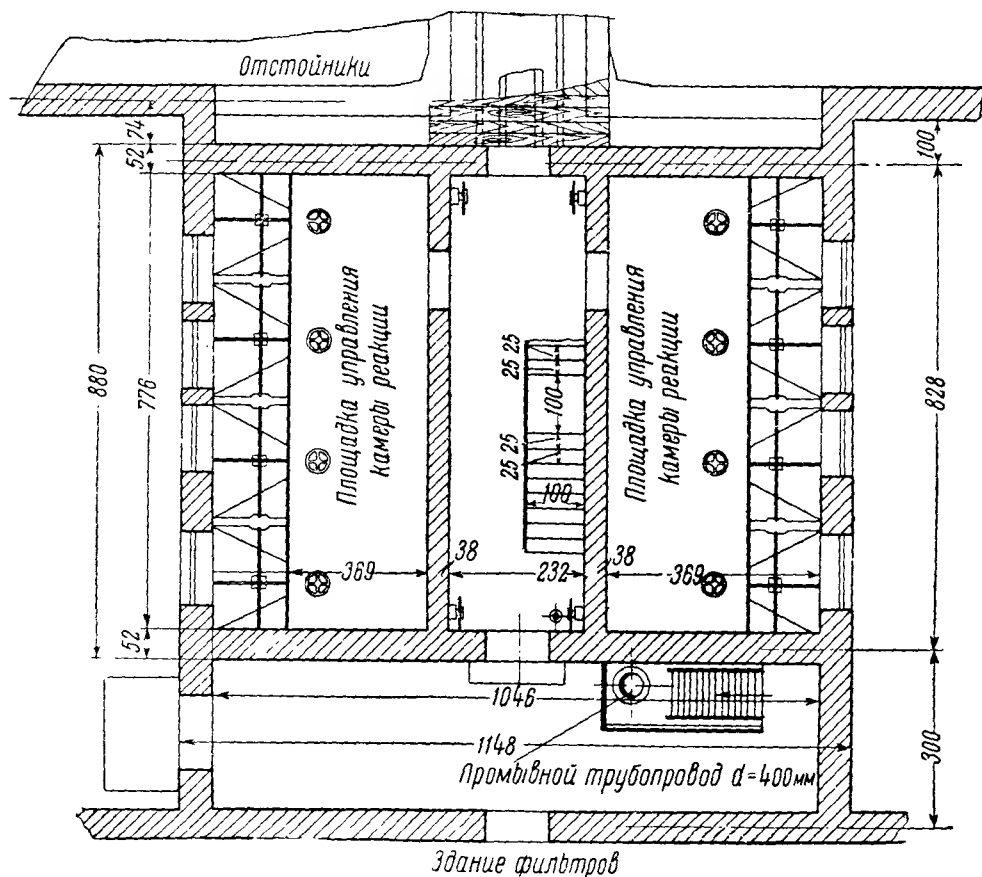
а) Камера образования хлопьев с горизонтальным движением воды

Объем камеры $W = Qt$ м³.

В увязке с высотной схемой намечается h .

Площадь всей камеры

$$F = \frac{Qt}{h} \text{ м}^2.$$



Фиг. 290

Принимая скорость движения воды в камере v м/сек, получим ширину коридоров

$$a = \frac{Q}{3600 v h} \text{ м.}$$

Тогда ширина всей камеры будет равна na ,
 где n — принимаемое число коридоров, длина коридора

$$b = \frac{F}{na} \text{ м.}$$

б) Камера образования хлопьев с вертикальным движением воды

Объем камеры

$$W = Qt \text{ м}^3.$$

В увязке с высотной схемой намечается h .

Площадь всей камеры в плане

$$F = \frac{Qt}{h} \text{ м}^2.$$

Площадь ячейки

$$f = \frac{Q}{v \cdot 3600} \text{ м}^2.$$

Число ячеек

$$n = \frac{F}{f}.$$

Варьируя длиной и шириной ячейки, обычно одинаковыми и принимаемыми не менее 0,6 м, а также скоростью, принимаем n близким к полученному, но кратным восьми, и окончательно определяем упомянутые ранее величины.

Потеря напора в обоих случаях

$$h_1 = h_2 + h_3,$$

$$h_2 = n \xi \frac{v^2}{2g},$$

где n — число поворотов, или число ячеек или коридоров;

ξ — рекомендуется * равным 2,6;

h_3 определяется для всего пути, считая движения по выпрямленному каналу. При большом числе поворотов, при длительном времени пребывания воды в камере потери напора могут достигать значительных величин. Так, например, при скорости около 0,4 м/сек и при 23 поворотах потери достигали около 1,15 м. Это является недостатком этих камер.

2. Тангенциальные камеры

Камеры этого типа в настоящее время проектируются на ряде сооружений для обработки воды при суточной производительности до 20 000 — 30 000 м³; они могут проектироваться и для малых расходов и должны получить распространение на жел.-дор. транспорте, а потому требуют более детального рассмотрения; они могут быть выполнены или в виде самостоятельного сооружения или совмещенными с центральной трубой отстойника. В камерах первого типа, представляющих собой цилиндрический резервуар, вода, поступающая тангенциально вверху у стенки со скоростью от 2 — 2,5 до 3,5 м/сек и выходящая внизу в центре, находится во вращательном движении, обусловленном энергией поступающей струи воды.

Вообще возможны различные комбинации впуска и выпуска:

- а) впуск вверху у стенки — выпуск внизу в центре;
- б) впуск снизу у стенки, выпуск сверху в центре;
- в) впуск снизу у стенки, выпуск сверху у стенки.

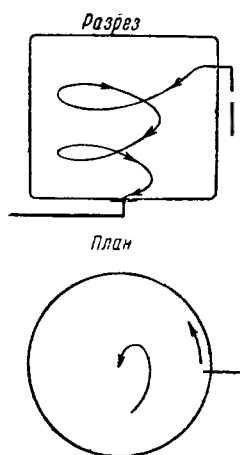
Для оценки работы камеры существенными являются:

- а) время пребывания воды в камере;
- б) скорость в насадке у впуска, обуславливающая движение воды в самой камере;

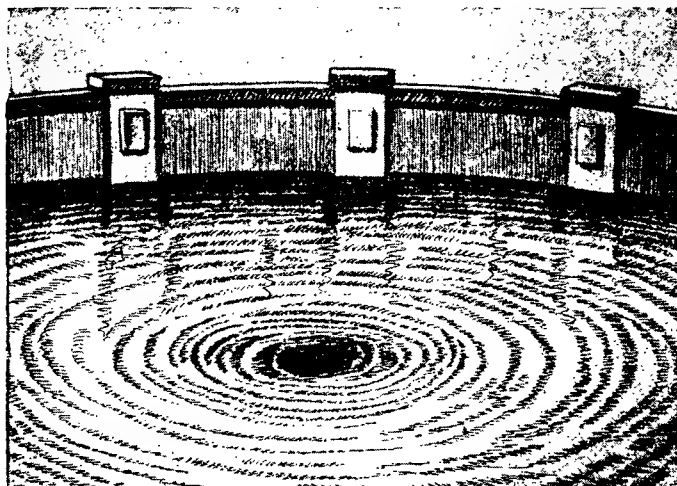
* Проф. Турчинович, Улучшение качества воды, ОНТИ, 1935.

- в) скорости движения воды в камере и их распределение;
- г) условия хлопьеобразования;
- д) потеря напора в камере;
- е) наличие осадков на дне камеры.

Время пребывания воды в тангенциальной камере зависит от мутности воды и принимается равным около 20 мин., иногда — несколько меньше. Скорости



Фиг. 291



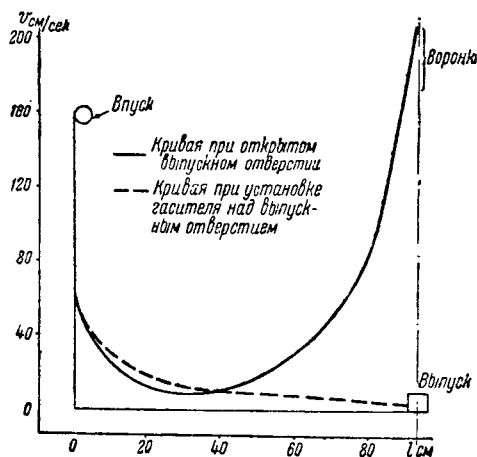
Фиг. 292

в насадке у впуска принимаются от 2 до 3,5 м/сек в зависимости от принятого времени смешивания.

Исследования камеры с впуском сверху у стенки и выпуском внизу (фиг. 291) показали¹, что струи имеют спиральное движение по направлению к выпуску и что скорости распределяются неравномерно; будучи сравнительно большими у впуска, они далее снижаются и у центра камеры вновь сильно возрастают; в центре появляется воронка, как это у одной из камер показано на фиг. 292; благодаря значительным скоростям, достигающим здесь 2 м/сек, часть хлопьев разрушается; распределение хлопьев в самой камере довольно равномерное; хлопьеобразование удовлетворительное; имели место значительные потери напора.

При установке в центре над выпуском гасителя с окнами, рассчитанными для создания здесь скорости движения 0,40 — 0,45 м/сек, характер движения в камере изменился. Скорости движения у борта равны примерно 0,6 м/сек и далее к центру снизились до 0,05 м/сек. Хлопьеобразование удовлетворительное.

На фиг. 293 показаны кривые, характеризующие примерное распределение скоростей в небольшой камере — модели в одном и другом случаях.



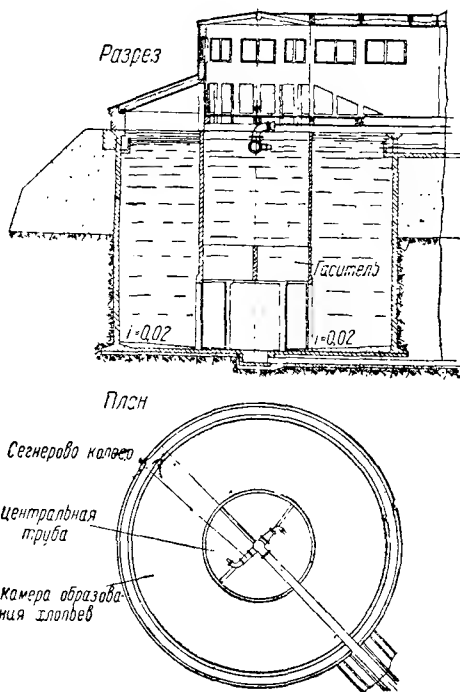
Фиг. 293

¹ Ростовский научно-исследовательский институт коммунального хозяйства (инж. П. Е. Богомазов).

Потери напора в последнем случае оказались весьма малыми. Осадков на дне камеры выпадало мало.

При впуске снизу и выпуске сверху в центре результаты работы камеры были удовлетворительными, но на дне камеры оказалось значительное количество осадков.

При впуске воды снизу и выпуске вверх у стенки камеры в средней части последней имеет место весьма слабое движение струй, что также приводит к отложению осадков на дне камеры. Таким образом, первая схема (с устройством гасителя) является наиболее правильной. В этом случае камера вследствие простоты ее эксплуатации, надежности работы и весьма незначительных потерь напора рекомендуется к широкому внедрению в водоснабжении на жел.-дор. транспорте.



Фиг. 294

Расчет.

$$W = Qt;$$

$$F = \frac{W}{h}.$$

В случае принятия n камер площадь каждой будет $f = \frac{F}{n}$.

Потери в камере незначительны, их можно не учитывать.

Площадь окон в гасителе и выходное отверстие намечаются так, чтобы скорости у выхода не превышали 0,5 м/сек. Уклон дна камеры принимается в 1 : 10.

Тангенциальные камеры, совмещенные с центральной трубой отстойника, вследствие экономии средств

при их осуществлении (тонкие стенки камеры) могут иметь в водоснабжении на жел.-дор. транспорте самое широкое распространение. За исключением выпускаемых принципиальных отличий они не имеют.

Инж. А. Ф. Шабалин, рассматривая тангенциальную камеру как трубу большого диаметра, пользуясь теорией винтового движения жидкости в цилиндрической трубе, в результате соответствующих исследований рекомендует скорости в насадке, приведенные в табл. 9.

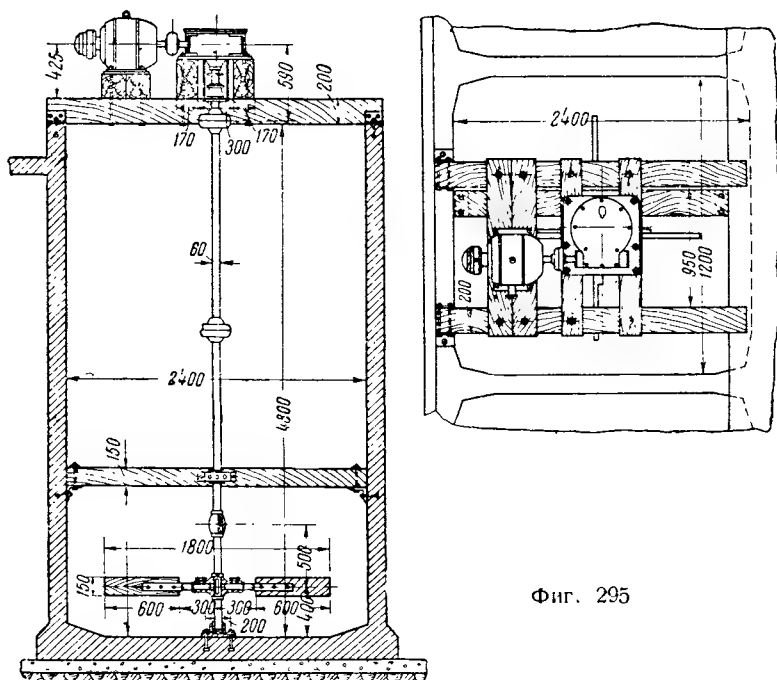
Таблица 9

Диаметр камеры D_1 в м	1	2	3	4
Скорость в насадке v м/сек	0,5	0,75	1,05	1,35
Потребный напор в м	0,03	0,05	0,09	0,23

На фиг. 294 представлен отстойник с центральной трубой — камерой образования хлопьев.

Впуск в камеру осуществляется при помощи неподвижного сегнерова колеса. Оно должно быть расположено под уровнем воды, иначе будет иметь место засасывание воздуха, вредное для работы отстойника. Так как вращательное движение воды в камере ни в каком случае не должно передаваться в отстойник, то в нижней

части камеры должен быть устроен гаситель. Он может быть выполнен в виде ряда пересекающихся деревянных вертикальных щитов. Отстойники в этом случае рекомендуется выполнять с радиальными желобами.

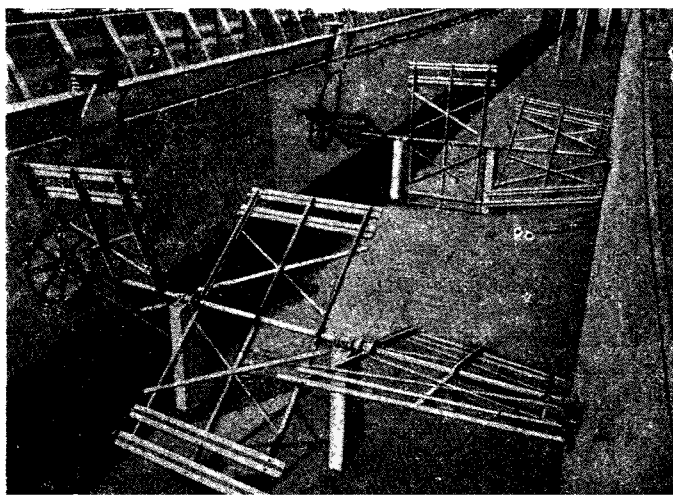


Фиг. 295

Тангенциальные камеры не могут быть включены последовательно. Зависимость скорости движения воды в отдельных местах камеры от скорости при входе воды в камеру пока изучена недостаточно.

Камеры с мешалками

Камеры с мешалками (обычно квадратные в плане) дают ничтожные потери напора. Скорость движения создается при помощи лопастей мешалки, укрепленной на вертикальном валу. Величина скорости перемешивания зависит от скорости движения лопастей мешалки. Вал приводится в движение от электрического (редко гидравлического) двигателя.



Фиг. 296

Вода обычно поступает внизу и выпускается из камеры вверх. При наличии нескольких камер скорость движения может меняться, — у первой мешалки она будет наибольшей и далее будет уменьшаться. Скорость у окружности (края) лопастей около $0,3 \text{ м/сек}$. В камерах круглых в плане скорость должна приниматься несколько большей, чем в камерах квадратных в плане.

Система зубчатых колес может позволить изменять число оборотов мешалки.

На фиг. 295 показана мешалка, которая может быть приспособлена в камере (трубопроводы на фигуре не показаны).

Преимущества камер с мешалками заключаются в ничтожной потере напора, возможности регулирования их работы, относительной простоте устройства (отсутствие перегородок, установка и крепление которых усложняют конструкцию). Однако недостатком их является необходимость установки и обслуживания небольшого двигателя. На фиг. 296 показаны мешалки с лопастями на горизонтальных валах, установленные в передней части отстойника. Этот новый тип, недавно примененный в США, дал хорошие результаты.

ГЛАВА II

ОТСТАИВАНИЕ ВОДЫ (ОСАЖДЕНИЕ ВЗВЕСИ)

§ 6. Общие сведения и некоторые теоретические соображения, общие для всех отстойников

Отстойники устраиваются для:

1) выделения из воды естественной взвеси или взвеси с коагулированными частицами;

2) завершения реакции коагулирования (хлопьеобразование при отсутствии специальной камеры) или реакции при известково-содовом методе умягчения (с задержкой здесь выпадающего осадка);

3) освобождения фильтров от значительной части работы по осветлению воды (70 — 75% взвешенных веществ может быть задержано до фильтров). Отстойники в водоснабжении на жел.-дор. транспорте при обработке воды для технических и хозяйственно-питьевых нужд имеют исключительное значение.

Осветление воды в большинстве случаев происходит на отстойниках и далее на фильтрах, иногда только на отстойниках (некоторые случаи осветления воды для снабжения паровозов) и лишь в очень незначительных случаях только на фильтрах (некоторые случаи с использованием конструкции напорных фильтров).

По занимаемому в схеме водоснабжения месту могут встретиться обычные, предварительные и вторичные отстойники; в зависимости от отсутствия или наличия в схеме обработки воды коагуляции осаждение может быть естественным или с коагуляцией.

Предварительное отстаивание (за ним следует дальнейшее отстаивание) является важнейшим мероприятием при обработке очень мутных вод, содержащих большое количество взвешенных веществ (3 000 — 5 000 мг/л и более).

Предварительное отстаивание в периоды высокой мутности воды приводит к экономии коагулянта в процессе дальнейшего отстаивания.

К числу предварительных отстойников относятся ковши-отстойники, осущающие прием воды из реки.

На фиг. 297 представлен один из типов ковшей-отстойников; форма ковша, сопряжение входной части ковша с рекой, угол между каналом и осью реки приняты были на основании специальных исследований. Работа ковша как предварительного отстойника заключается в осаждении в нем наиболее крупной части взвешенных веществ, а вместе с ними и некоторого количества бактерий.

Работа указанного на фиг. 297 ковша-отстойника происходила при следующих условиях: при низкой воде время пребывания воды в ковше, обусловленное его емкостью, около 50 мин.; скорость движения воды около 26 мм/сек; для большей части года время пребывания воды около 1 ч. 10 м.; скорость движения около 17 мм/сек.

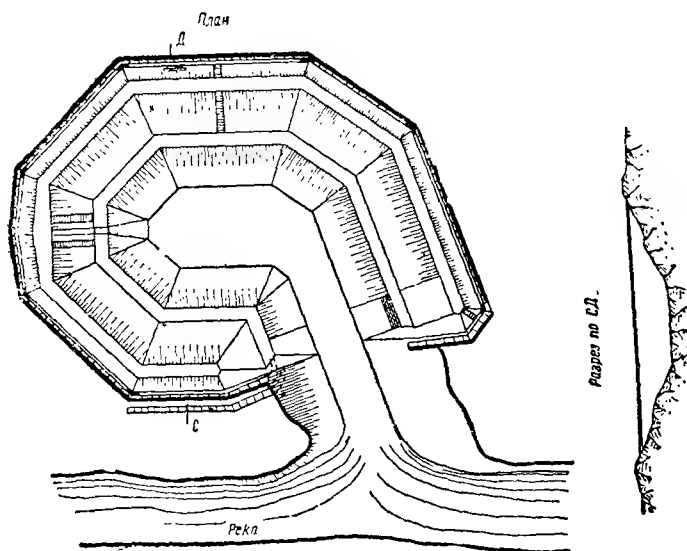
Время пребывания воды в канале колеблется от 17 до 25 мин. Задерживается главным образом неорганическая часть взвеси (сюда входит и песок); органическая взвесь, а также окислы железа и алюминия (мелкая глинистая взвесь и пр.) задерживаются в незначительной степени.

После предварительного отстаивания без коагуляции и удаления из воды наиболее тяжелой взвеси вода далее отстаивается в обычных отстойниках для освобождения ее от более легкой взвеси и коллоидальных частиц. Что касается вто-

ричных отстойников, следующих за обычными, то они встречаются редко (изредка встречается два отстойника, работающих последовательно, второй из них носит название вторичного).

Естественное отстаивание, непосредственно предшествующее фильтрации, встречается на станциях обработки воды с медленными фильтрами; отстаивание с коагуляцией, при которой можно удалить и сравнительно высокую мутность, непосредственно предшествует работе скорых фильтров. Обычно под отстойниками понимают искусственные сооружения, но отстойниками можно назвать также и некоторые естественные водоемы, если при нахождении в них воды в течение значительного времени происходит удаление мутности, обесцвечивание и уменьшение количества бактерий.

Ранее встречались отстойники периодического действия, в которых поступающая вода находилась в течение определенного периода в состоянии покоя и из которых вода выпускалась лишь по прошествии этого периода времени. Вследствие неудобств, создаваемых эксплуатацией таких отстойников, в настоящее время проектируются и строятся исключительно отстойники непрерывного действия.



Фиг. 297

Из сущности работы и назначения отстойников следует, что для получения удовлетворительного эффекта осаждения необходимо пребывание в отстойниках воды определенного качества в течение определенного времени; последнее зависит от характера взвеси, температуры воды, степени требуемого удаления мутности и характера последующих процессов обработки.

Каждая частица, взвешенная в потоке, находится под влиянием ряда сил и в частности под влиянием силы тяжести, вследствие чего стремится двигаться вниз со скоростью, зависящей от величины, удельного веса и формы ее; скорость эта также зависит от вязкости и сопротивления воды.

Сферические частицы осаждаются быстрее, чем частицы неправильной формы; коллоидальные частицы так малы, что влияние их сил тяжести ничтожно, если они не собраны в группы (коагуляция). Песок осаждается быстро; частицы мелкой глины и коллоиды осаждаются с трудом и требуют для осаждения не только коагуляции, но и достаточного времени пребывания их в отстойнике.

Поскольку отстойник проектируется для задержки взвеси, необходимо знать не только максимальное количество взвешенных веществ в воде (в миллиграммах на литр), но и характеристику взвеси, т. е. насколько она однородна, быстро или медленно выпадает, скорость, с которой выпадает определенный процент взвеси,

и т. д. Последнее дает лишь относительное представление о взвеси, так как зависит не только от состава взвеси, но в значительной мере и от температуры воды.

Данные табл. 10 до некоторой степени характеризуют взвесь, встречающуюся в воде.

Т а б л и ц а 10

Название частиц взвеси	Диаметр частиц в мм	Гидравлич. величина частиц при 10° (в мм/сек)	Примечания
Крупный песок	1,0000	100,0	Крупный песок взвесью может быть назван лишь условно Данные согласно опытам Газена
	0,8000	83,0	
	0,6000	63,0	
	0,5000	53,0	
	0,4000	42,0	
Средний песок	0,3000	32,0	Данные, полученные интерполяцией
	0,2000	21,0	
	0,1500	15,0	
	0,1000	8,0	
	0,0800	6,0	
Мелкий песок	0,0600	3,8	Данные, полученные интерполяцией
	0,0500	2,9	
	0,0400	2,1	
	0,0300	1,3	
	0,0200	0,62	
Ил	0,0150	0,35	По формуле Уайля и др.
	0,0100	0,154	
	0,0080	0,098	
	0,0060	0,055	
	0,0050	0,0385	
Мелкий ил	0,0040	0,0247	По формуле Уайля и др.
	0,0030	0,0133	
	0,0020	0,0062	
	0,0015	0,0035	
	0,0010	0,00154	
Очень мелкая глина	0,0001	0,0000154	По формуле Уайля и др.

Указанное в табл. 10 разграничение является условным; собственно строгого разграничения между фракциями нет.

Гидравлическая величина — скорость выпадения частиц в миллиметрах в секунду при температуре 10° — для более крупных частиц может быть найдена опытом; что касается диаметра частиц, то определение их затруднительно, и приведенные данные, полученные главным образом теоретическим путем, следует рассматривать только как иллюстрацию к вопросу, тем более, что данные таблицы относятся к отдельным частицам, выпадающим изолированно друг от друга.

Для отдельных частиц при диаметре их меньше 0,1 мм скорость выпадения пропорциональна квадрату диаметра и подчиняется формуле Стокса, а при диаметре больше 0,1 мм — скорость выпадения пропорциональна диаметру частицы.

Условия выпадения коагулированной взвеси не изучены вследствие трудности определения диаметра коллоидальных частиц, увеличения размера частиц по мере их движения (хлопья по мере движения увеличиваются) и отсутствия данных о характере этого увеличения вследствие изменения плотности частиц (хлопья коагулянта при движении сорбируют взвешенные вещества, имеющие большую плотность, чем сами хлопья) и отсутствия данных, выражающих характер такого изменения вследствие увеличения скорости движения, и т. д.

Укрупнение хлопьев коагулянта играет исключительную роль в процессах осаждения в отстойниках в системах водоснабжения, но установление здесь определенной закономерности встречает пока значительные трудности.

На процесс осаждения оказывает большое влияние вязкость воды, особенно для частиц диаметром до 0,1 мм. Влияние вязкости подтверждается и формулой

Стокса; скорость осаждения резко увеличивается при повышении температуры воды (уменьшается вязкость). Так, например, при изменении температуры от 0 до 30° скорость осаждения благодаря изменению вязкости увеличивается в 2,3 раза.

Характер взвеси и удельный вес отдельных частиц имеют влияние на скорость и, следовательно, на эффект осаждения (при увеличении удельного веса вдвое скорость осаждения возрастает в 12 раз).

Большая часть минеральных частиц, взвешенных в воде, имеет удельный вес от 1,1 до 2,9; удельный вес кварцевого песка 2,65. Определенное влияние на скорость осаждения имеет и концентрация частиц взвеси.

Таким образом, хотя теоретические сведения о самой взвеси необходимы, но они, особенно при коагуляции, не дают достаточных данных для проектирования отстойника, в котором явления движения взвеси осложняются еще вихревым движением отдельных потоков и струй воды, в особенности при впуске ее в отстойник, конвекционными токами, вызываемыми различием в температурах и т. д.

Для выпадения взвеси в отстойнике требуются определенное время отстоя и определенные скорости движения воды. Обычно в отстойниках вода движется с очень малыми скоростями, и здесь движущийся поток имеет тенденцию проходить наикратчайшим путем от впуска к выпуску, оставляя более или менее значительную часть отстойника по существу неиспользованной. Многочисленные опыты и наблюдения подтвердили, что время фактического пребывания воды в отстойниках значительно меньше расчетного времени и действительные скорости движения воды в сечении отстойника сильно отличаются от расчетных или теоретических скоростей. Из этого следует, что сооружаемые отстойники используются неполностью, а это ведет к непроизводительным затратам средств и строительных материалов; сильное же увеличение скоростей движения воды, связанное с тем, что отстойник работает неполным сечением, ухудшает условия выпадения взвеси.

Конструкция отстойника для определенного времени отстоя при наименьшей строительной стоимости не всегда является наиболее целесообразной и наиболее экономически выгодной. Естественно, что со строительной стоимостью необходимо считаться, однако, весьма существенным здесь должен быть и результат работы сооружения — эффект осаждения.

Улучшая теми или иными путями эффект осаждения взвеси в отстойнике, мы в ряде случаев в то же самое время могли бы уменьшить время отстоя и увеличить пропускную способность системы.

Основное при изучении отстойников — это уточнение вида конструкции и отдельных элементов отстойников с тем, чтобы эти сооружения при возможно меньшем объеме давали возможно лучший эффект работы.

Так как фактическое время отстоя меньше расчетного, а действительные скорости движения воды соответственно больше расчетных, то техническая мысль направлена к изысканию таких конструкций отстойников, при которых действительные скорости возможно меньше отличались бы от теоретических или расчетных и действительное время пребывания воды в отстойнике возможно меньше отличалось бы от теоретического или расчетного. Результаты целого ряда исследований, используемые уже в расчетах и при проектировании отстойников, позволяют уяснить влияние отдельных элементов отстойников и их величин, а также отдельных явлений движения воды в отстойниках на эффект работы последних. Так как эффект работы отстойника является результатом совокупности происходящих в нем процессов, то необходимо каждое из явлений изучить в отдельности в определенной последовательности и, найдя соответствующие им закономерности или зависимости, дать для создания рациональной конструкции отстойника синтез всего явления в целом.

§ 7. Коэффициент использования отстойника

Время отстоя, принимаемое при проектировании отстойников, является лишь теоретическим или, точнее, условным термином, дающим известный подход к определению емкости отстойников. При различных условиях эта теоретическая вели-

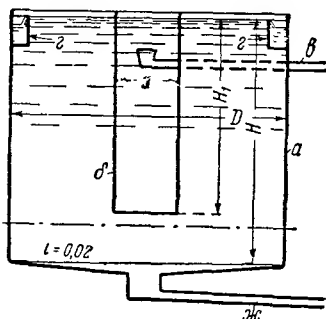
чина соответствует действительному или фактическому времени пребывания воды в отстойнике лишь в меньшей или большей степени. Целесообразность конструкции отстойника, а также и эффект работы его при определенных условиях взаимно связаны с отношением фактического времени прохождения в нем струй воды к теоретическому времени, ибо увеличение фактического времени пребывания воды в каждом отстойнике может быть результатом лишь более полного использования емкости и сечения отстойника.

Последнее связано с фактическим уменьшением действительных скоростей движения воды, т. е. созданием более благоприятных условий для выпадения взвеси.

Обозначив фактическое время прохождения струй воды через отстойник B_{ϕ} , теоретическое — B_m , условимся называть отношение $\frac{B_{\phi}}{B_m}$ коэффициентом использования отстойника (объемным).

Если бы можно было допустить, что емкость отстойника при некоторых условиях используется правильно движущимися по его сечению струями полностью, то коэффициент использования его в этих условиях был бы равен единице и, следовательно, действительная скорость движения воды в отстойнике не отличалась бы от теоретической или расчетной.

Практически коэффициент использования отстойника бывает часто достаточно



Фиг. 298



Фиг. 299

низким. Максимальное значение его в выстроенных сооружениях в зависимости от вида сооружения доходит до 0,5 и лишь для отдельных конструкций — выше при наличии для этого специальных условий. Процент задержки взвеси нормально должен быть в пределах 75 — 80%, но он, конечно, зависит от местных условий и от абсолютного количества взвеси в воде.

§ 8. Скорости движения воды в вертикальном и горизонтальном отстойниках

На фиг. 298 изображена схема вертикального отстойника обычной конструкции: а — отстойник, б — центральная труба, в — труба, подающая воду в центральную трубу, г — круговой переливной жолоб, из которого осветленная вода поступает на фильтр, ж — труба для выпуска осадков.

На фиг. 299 изображена схема горизонтального отстойника обычной конструкции: а — отстойник, б — впуск, в — выпуск, г — труба для выпуска осадков.

В вертикальных отстойниках осветляемая вода движется снизу вверх, а в горизонтальных — от впуска к выпуску или, грубо говоря, в горизонтальном направлении.

Иногда цилиндрические отстойники большого диаметра (например со скребками Дорра) называют вертикальными, хотя по существу они часто обуславливают движение, более близкое к горизонтальному; поэтому отстойники, у которых вода от входа к выходу движется в основной своей массе под углом к горизонту меньше 45°, следует скорее отнести к горизонтальным типам.

Уточнение величины скорости восходящего движения воды в вертикальных отстойниках имеет большее значение, чем то же для скорости поступательного движения в горизонтальных отстойниках.

В горизонтальных отстойниках скорость движения воды имеет весьма широкие пределы, колеблясь от малых величин в 2 — 3 мм/сек до 35 — 40 мм/сек (редко); скорость движения воды в выполненных вертикальных отстойниках колеблется в очень узких пределах, примерно около 0,5 — 0,75 мм/сек. Величина скорости должна быть такой, чтобы эта скорость обеспечивала выпадение хлопьев коагулянта с увлекаемыми взвешенными веществами. Рассматривая движение отдельных хлопьев коагулянта с увлекаемыми взвешенными частицами, следует заметить, что движение это в горизонтальных и вертикальных отстойниках протекает в разных условиях. Элементарно это может быть представлено так: отдельные хлопья в горизонтальных отстойниках движутся в горизонтальном направлении с составляющей скоростью v_1 (движения воды в отстойнике) и в вертикальном направлении с составляющей скоростью v_2 (фиг. 300); последняя обусловлена величиной, удельным весом и формой рассматриваемых хлопьев, величиной, формой, удельным весом и характером частиц, находящихся во взвешенном состоянии и увлекаемых хлопьями коагулянта, удельным весом, вязкостью и сопротивлением воды (ведущими к уменьшению v_2). Силы, действующие на частицу при ее движении в неподвижной жидкости с неизменной скоростью, характеризуются уравнением:

$$\frac{4}{3} \pi \left(\frac{d}{2} \right)^3 (\rho_1 - \rho_2) g = \psi \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \rho_2 v_2^2,$$

где d — диаметр частицы,
 ρ_1 — плотность частицы,
 ρ_2 — плотность воды,
 ψ — коэффициент сопротивления.

Левая часть уравнения представляет собой силу веса и давление жидкости, а правая — сопротивление шарообразной частицы, двигающейся в жидкости с постоянной скоростью v_2 . Сила веса направлена вниз, а давление жидкости и сопротивление вверх. Для очень малых скоростей и размеров частиц взвеси уравнение имеет вид

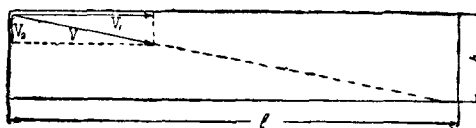
$$\frac{4}{3} \pi \left(\frac{d}{2} \right)^3 (\rho_1 - \rho_2) g = 3 \pi \mu d v_2 \text{ (по Стоксу),}$$

где μ — абсолютная вязкость.

Как отдельные хлопья, так и отдельные увлекаемые ими частицы могут быть настолько малы, что не смогут осесть до тех пор, пока не будут в процессе отстаивания собраны в более крупные группы.

При элементарном представлении явления выпадения взвеси в движущейся жидкости оседание частиц происходит с равнодействующей скоростью v , причем хлопья с увлекаемыми ими взвешенными частицами, перемещаясь ко дну отстойника, оседают на нем тем скорее, чем v_2 больше и v_1 меньше. Фактически же вследствие вихревых движений, особенно вблизи стенок, перегородок и пр., и температурных влияний движение отдельных хлопьев будет искажено, но все же при достаточно малых значениях v_1 (пределы зависят от крупности и характера взвеси) осаждение сможет иметь место при отстойнике соответственно большой длины.

Отдельные хлопья в вертикальных цилиндрических отстойниках движутся вертикально по направлению снизу вверх с вертикальной составляющей скоростью v_1 (фиг. 301) движения воды в отстойнике и вертикально по направлению сверху вниз с составляющей скоростью v_2 . Последняя обусловлена, как и в первом случае, величиной, весом и формой рассматриваемых хлопьев, величиной, формой, удельным весом и характером увлекаемых взвешенных частиц и удельным весом, вязкостью и сопротивлением воды. И в этом случае отдельные хлопья и отдельные увлекаемые ими частицы могут быть настолько малы, что они не смо-



Фиг. 300



Фиг. 301

гут осесть, пока не будут в процессе отстаивания собраны в более крупные группы. Движение хлопьев в этом случае совершается с равнодействующей скоростью v , имеющей вертикальное направление и равной $v_2 - v_1$.

Для выяснения величины скорости движения определенных частиц в неподвижной жидкости существует ряд данных, полученных в результате специальных исследований.

Однако пользоваться этими данными оказалось затруднительным, ибо размеры хлопьев коагулянта (диаметр соответственного шарика) трудно установить, а при выпадении эти хлопья, обладая сорбирующей способностью, движутся не с постоянной скоростью, а с увеличивающейся и, кроме того, захватывают на пути своего движения мелкую взвесь и, следовательно, увеличивают свой удельный вес; далее имеет место движение самой жидкости и т. п.

При движении взвеси в вертикальном отстойнике для подавляющего большинства хлопьев может быть три случая:

$$v_1 > v_2; v_1 = v_2 \text{ и } v_1 < v_2.$$

При $v_1 > v_2$ хлопья коагулянта будут уноситься с отстойника на фильтры и должного эффекта отстаивания в смысле задержки взвешенных веществ в результате работы отстойников получено не будет (оседает лишь такая крупная взвесь, как песок и т. п.).

Случая, когда $v_1 = v_2$, для всех хлопьев в практике встретиться не может, так как образование хлопьев по природе своей таково, что одни из них будут более крупными, другие — менее крупными, в таком случае часть хлопьев будет оседать, а часть уноситься с отстойника на фильтр, во всяком случае эффект работы отстойника будет неудовлетворительным.

При $v_1 < v_2$ хлопья будут оседать в самом отстойнике, и эффект работы последнего будет наиболее удовлетворительным.

Таким образом, для получения удовлетворительной работы вертикального отстойника скорости восходящего движения воды в нем (действительная величина) должны быть меньше действительной скорости выпадения нормальных хлопьев (предполагается, естественно, правильное ведение процессов коагулирования и правильное хлопьеобразование).

Определения допустимой скорости движения воды производились на основе наблюдений за движением нормальных хлопьев в стеклянных цилиндрах, наполненных водой, с применением нормальных доз коагулянта, соответствующих содержанию в воде взвешенных веществ.

Результаты наблюдений за движением хлопьев приведены в табл. 11.

Таблица 11.

Температура воды	4—6°	11°	15°
Прозрачность в см	5	6	6
Взвешенные вещества в мг/л	224	190	191,5
Доза коагулянта в мг/л	50	50	50
Скорость движения крупных хлопьев в мм/сек	1,6	1,75	1,77
Скорость движения мелких хлопьев в мм/сек	0,63	—	0,56

Так как процессы коагулирования и отстоя должны протекать в условиях нормального и хорошего хлопьеобразования, то в основу дальнейших выводов положена скорость движения именно крупных нормальных хлопьев.

Скорость движения крупных хлопьев оказалась равной в среднем 1,7 мм/сек. Следовательно, для осаждения частиц необходимо, чтобы действительная скорость движения воды в вертикальном отстойнике была меньше 1,7 мм/сек.

Термин «действительная скорость движения воды» в практике расчетов не принят; принимаемая в расчетах скорость движения не есть действительная скорость, — в результате неполного использования отстойника она много меньше действительной, поэтому было бы правильно скорость, положенную в основу расчета, называть «условной расчетной скоростью движения воды в отстойнике».

Вертикальный отстойник обычной конструкции в условиях практической работы имеет коэффициент использования около 0,50. Это значит, что действительная скорость движения воды может быть с некоторой погрешностью принята равной удвоенной условной расчетной скорости. Так как согласно проведенным исследованиям действительная скорость должна быть меньше 1,7 мм/сек, то условную расчетную скорость движения воды в вертикальном отстойнике не следует принимать больше 0,65 — 0,75 мм/сек.

Также можно наметить приемлемые скорости для расчета отстойников, работающих в других условиях, так как рассмотренные принципиальные положения остаются справедливыми и независимо от коагуляции, например для отстойников в системах умягчения и т. д.

С изменением характера взвеси изменяются значения скоростей, время отстоя и т. д. В дальнейшем с увеличением коэффициента использования отстойников можно будет увеличить и скорости движения в них воды.

Возвращаясь к элементарному представлению о движении взвеси в горизонтальных отстойниках, можно допустить, что при отсутствии вихрей частица взвеси будет перемещаться по направлению равнодействующей скорости v .

Здесь также может быть рассмотрено несколько случаев: а) если направление равнодействующей скорости пересекает дно, частица осаждается; б) если не пересекает — частица может быть вынесена. Частицы, достигшие дна отстойника в самом конце его, являются наименьшими по величине частицами, которые должны быть задержаны отстойником. Для таких частиц скорости могут быть определены из отношения

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{h}{l}.$$

Предельная скорость выпадения этих частиц

$$v_2 = \frac{v_1 h}{l}.$$

В вертикальных отстойниках v_2 должно было быть больше v_1 . Так как в горизонтальных отстойниках величина h колеблется от 3,5 до 6 м, а l в 10 и более раз превышает эту величину, то ясно, что величина v_2 в горизонтальных отстойниках во много раз меньше v_1 , или иначе v_1 в горизонтальных отстойниках во много раз больше, чем v_1 в вертикальных.

В горизонтальном отстойнике струйность движения, или нарушение равномерности движения по всему сечению, обусловленное влиянием впуска или выпуска воды, наличием или отсутствием перегородок, различием температур воды, находящейся в отстойнике и поступающей в него, наличием «застойных» пространств и т. д., имеет место в большей степени, чем в вертикальном.

При осаждении коагулированной взвеси считают, что при отношении $\frac{l}{h}$ около 10 скорость v_1 не должна превышать 5 мм/сек, при том же отношении порядка 20 скорость v_1 не должна превышать 10 мм/сек и при $\frac{l}{h}$, большем 20, — 12 мм/сек. При осаждении взвеси без коагуляции для упомянутых отношений $\frac{l}{h}$ та же скорость рекомендуется в пределах 0,5, 1 и 1,5 мм/сек.

В зависимости от величины скорости, по существу не горизонтальной, может возникать вертикальная ее составляющая, тормозящая выпадение взвеси. Обычно скорости движения воды в горизонтальных отстойниках принимаются не выше 10 — 12 мм/сек, хотя известны отстойники, работающие со значительно большими скоростями.

Следует иметь в виду, что неравномерность движения и струйность приводят к увеличенным действительным скоростям по сравнению с принятыми при

проектировании, с другой стороны, мероприятия, улучшающие характер распределения струй по сечению отстойника в смысле выравнивания их по всему сечению, создают условия для лучшего эффекта осаждения взвеси.

§ 9. Вертикальные отстойники

Вертикальные отстойники имеют большое распространение в водоснабжении на жел.-дор. транспорте, а так как стоимость отстойников составляет значительную часть стоимости сооружений для обработки воды, то на вертикальных отстойниках необходимо остановиться подробнее. Для суждения о степени равномерности распределения струй по горизонтальному сечению отстойника служит коэффициент использования отстойника. Последний взаимно связан с эффектом работы отстойника, поэтому зависимость его от ряда факторов чрезвычайно важна.

Влияние распределения плотностей воды. Коэффициент использования отстойника зависит от распределения плотностей воды в нем, или иначе — температур воды, поступающей и находящейся в нем, коэффициент использования зависит от величины разности этих плотностей.

Вода, находящаяся в вертикальном отстойнике в системе для обработки питьевой воды, обычно имеет температуру, близкую к температуре воды, вступающей в отстойник. При умягчении воды с подогревом и поступлении в отстойник (реакционный резервуар) подогретой воды гидравлический режим его ухудшается. Следует стремиться к тому, чтобы поступающая в отстойник вода не засасывала на своем пути воздуха, так как это приводит к уменьшению плотности воды, поступающей в отстойник, и к уменьшению коэффициента использования его.

Хотя теоретически предполагается, что вода движется снизу вверх сплошь по всему сечению вертикального отстойника с некоторой достаточно малой расчетной скоростью, но фактически это не имеет места. В одних местах отстойника вода движется со скоростью значительно большей, в других значительно меньшей. Условия движения потоков различны при различном распределении температур воды, поступающей и находящейся в отстойнике.

При поступлении в отстойник менее плотной воды по сравнению с водой, находящейся в нем, потоки поступающей воды (более легкой) при выходе из центральной трубы будут устремляться к выпуску. Последнее может иметь место в отстойниках на станциях умягчения с предварительным подогревом. В этом случае вследствие некоторого охлаждения вода в отстойнике может иметь меньшую температуру, чем подогретая вода, поступающая в него.

Более удаленное от центральной трубы пространство в нижней части отстойника и кольцевое пространство у стенок отстойника представляют собой при указанном распределении температур «застойное» пространство.

Потоки поступающей в отстойник воды, имеющей плотность, равную плотности воды, находящейся в отстойнике, по выходе из центральной трубы движутся в основной массе в кольцевом пространстве между центральной трубой и стенками цилиндра, не достигая последних. Рассматриваемый характер движения имеет место обычно в отстойниках в системах для обработки питьевой воды.

Неработающим местом в этом случае является некоторый объем у самого дна, значительно меньший, чем в первом случае, объем кольцевого пространства у самых стенок цилиндра, и некоторый незначительный объем кольцевого пространства у центральной трубы.

Если бы на отстойник поступала вода, имеющая большую плотность, чем плотность воды в отстойнике, то потоки поступающей воды по выходе из центральной трубы устремлялись бы в самую нижнюю часть отстойника и, будучи затем вытесняемы из занятого пространства следующими потоками, более или менее равномерно двигались бы по направлению снизу вверх со скоростями, примерно одинаковыми в одном и том же горизонтальном сечении. Это не имеет места в выполненных установках, но имеет большое принципиальное значение. Для последнего случая коэффициент использования приближался бы к единице.

В существующих конструкциях вертикальных отстойников наиболее высокий

коэффициент использования их получается в том случае, если поступающая вода имеет плотность, равную плотности воды, находящейся в отстойнике, при этом скорости движения у центральной трубы большие, чем скорости движения у стен отстойника; в отдельном концентрическом слое воды скорости примерно одинаковы и по мере приближения к поверхности воды в отстойнике они уменьшаются.

Температура воды, обуславливающая ту или иную вязкость, отражается на коэффициенте использования, с уменьшением вязкости облегчается струйность протока. Правильно сконструированный вертикальный отстойник (фиг. 298) должен на основании опытов иметь коэффициент использования около 0,5.

Влияние осадков на работу отстойника. В эксплуатации отстойников обычно считают бесспорным, что чем меньше имеется на дне отстойника грязевых отложений, тем лучший результат его работы будет получен. Однако установлено, что накопление грязевых отложений в отстойниках при определенных условиях приводит к резкому улучшению их работы.

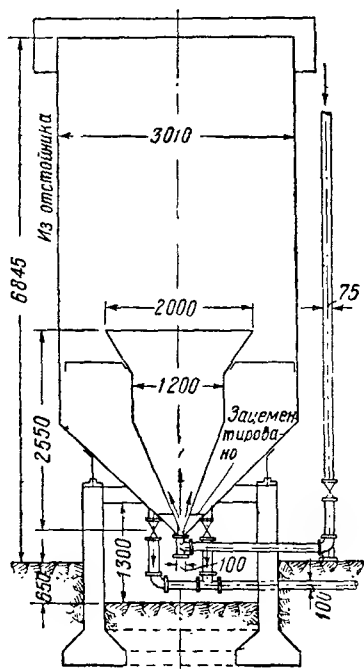
При задержке в отстойниках коагулированной взвеси грязевые отложения, состоящие частично из окислов железа (осаждение глинистых частиц и пр.) и главным образом из окислов алюминия, при определенном их накоплении в нижней части отстойника (выше конца центральной трубы), допуская прохождение через себя воды, могут задерживать хлопья коагулянта и взвешенные вещества, т. е. здесь может иметь место фильтрация воды, поступающей на отстойник через образовавшийся в нижней его части взвешенный фильтр из хлопьев с большой поверхностью.

Некоторое значение имеет здесь то обстоятельство, что струи воды, проходя через слой грязевых отложений при значительных дозах коагулянта (и извести), приподнимают и увлекают с собой отдельные частицы осадка; последние, поднявшись на некоторую высоту, начинают опускаться; таким образом, осуществляется тесный контакт между частицами воды и выпавшими в осадок хлопьями; имеют место дополнительная коагуляция, дополнительное укрупнение частиц и дальнейшее образование осадка, обладающего определенной сорбирующей способностью.

При определенном накоплении грязевых отложений в нижней части вертикального отстойника, при определенном распределении частиц воды, выходящих из центральной трубы отстойника, по отношению к этим грязевым отложениям и определенном составе и характере последних может быть достигнута чрезвычайно высокая прозрачность выходящей из отстойника воды. Указанное обстоятельство сможет привести к разгрузке фильтров, а в ряде случаев и к исключению их из схемы обработки воды, а также к возможному уменьшению объема отстойников.

В настоящее время намечаются отдельные элементы конструкции для накопления и постепенного выпуска осадков. На фиг. 302 изображена одна из таких конструкций, предложенная инж. Тетеркиным. Подвод воды в отстойник осуществляется снизу в расширяющуюся часть дополнительного устройства, названного автором диффузором; накапливающийся в последнем осадок и выполняет роль взвешенного фильтра.

Влияние скорости движения воды в центральной трубе вертикального отстойника на его работу.



Фиг. 302

При очень больших скоростях движения воды в центральной трубе выходящий из нее поток ударяется о дно отстойника, приобретает отраженное движение и, не заполняя всей нижней части, стремительно движется главным образом в средней части отстойника по направлению снизу вверх, достигая переливных желобов отстойника через очень короткие промежутки времени.

С уменьшением скорости движения воды в центральной трубе указанный выше «удар» потока воды, выходящего из центральной трубы, становится все менее и менее сильным и, наконец, при скоростях примерно в 75 — 100 м/ч уже вообще не имеет места.

При дальнейшем значительном уменьшении скорости выходящий из центральной трубы поток уже не представляет собой сплошного столба воды, а приобретенная частицами воды по выходе из центральной трубы скорость недостаточна для образования таких горизонтальных потоков, которые, распределяясь в нижней части отстойника, достигали бы его стенок.

Таким образом, скорость движения воды в центральной трубе вертикального отстойника влияет на его работу. С уменьшением диаметра отстойника запас кинетической энергии в частицах воды при выходе их из центральной трубы, необходимый для достижения частицами стенок отстойника, должен быть меньшим. При большей высоте отстойника влияние скорости движения воды уменьшается, ибо самый факт увеличения высоты отстойника создает лучшие условия для распределения струй воды по его сечению.

Впредь до дальнейшего уточнения скорость движения воды в центральной трубе вертикального отстойника может быть рекомендована в пределах 100 — 150 м/ч; меньшая скорость — для отстойников меньшего диаметра и большая — для отстойников большего диаметра.

Наличие всякого рода успокоителей в нижней части отстойника уменьшает влияние скорости движения воды в центральной трубе отстойника.

Влияние длины центральной трубы в вертикальном отстойнике на его работу. Величина расстояния от нижнего края центральной трубы вертикального отстойника до его дна отражается на коэффициенте использования отстойника. Расстояние это рекомендуется принимать равным примерно $\frac{1}{4}$ высоты отстойника.

Влияние скорости движения в трубопроводе, подводящем воду к центральной трубе. Скорость движения воды в трубопроводе, подводящем воду к центральной трубе вертикального цилиндрического отстойника, не влияет на коэффициент использования последнего.

В тех случаях, когда вода будет поступать на отстойник из камеры реакции с образовавшимися уже хлопьями коагулянта, скорость в подводящей трубе во избежание разрушения хлопьев не должна превышать 0,6 м/сек.

При больших скоростях движения воды в рассматриваемой трубе близ места присоединения ее к центральной трубе образуются сильные вихревые движения, ведущие к засасыванию частицами воды воздуха и уменьшению, таким образом, плотности поступающей на отстойник воды.

Присоединение трубы, подающей воду, к центральной трубе, необходимо осуществлять ниже уровня воды в отстойнике, причем расстояние от уровня воды в отстойнике до этой трубы должно быть тем большим, чем больше скорость движения воды в последней.

Можно рекомендовать принимать это расстояние равным 0,5 — 0,75 м при скоростях в трубе, подающей воду, близких к 1 м/сек, и равным 1 м при больших скоростях.

Влияние отдельных элементов конструкции вертикального отстойника на его работу. Изменение распределения потоков воды по выходе из центральной трубы в вертикальном отстойнике приводит к изменению коэффициента использования отстойника. Наличие опор, балок и тому подобных устройств внутри вертикального отстойника приведет к изменению распределения потоков, вызывающему ухудшение коэффициента использования отстойника.

Изменение движения потоков воды по выходе из центральной трубы в верти-

кальном отстойнике, направленное к возможно полному распределению этих потоков в горизонтальных сечениях отстойника, приводит к улучшению коэффициента использования последнего. Кромка переливного жолоба должна быть строго горизонтальна, чтобы перелив был одинаков по всей окружности жолоба. Нижняя кромка центральной трубы также должна быть горизонтальна.

Влияние условий поступления воды на вертикальные отстойники (и с отстойников на фильтры) на их работу. Конструкция тех элементов сооружения (например лотка), откуда берут начало трубопроводы, подводящие воду на каждый из отстойников, должна быть такова, чтобы была исключена возможность попадания в отстойник воздуха вместе с водой.

Попадание воздуха с водой, поступающей с отстойника на фильтр, крайне вредно отзывается на работе последних. В отдельных местах распределительной сети, подводящей воду с отстойников на фильтры, могут образоваться воздушные мешки, и питание фильтров водой будет протекать в ненормальных условиях.

Кроме того, воздух, будучи частично растворен в воде и попадая в песок фильтра, в некоторой своей части пройдет с водой через дренаж фильтра, в другой же части в зависимости от температурных условий и давления может выделяться в песке и именно в верхних его слоях, в этом случае он увеличивает сопротивление движению воды, увеличивает потерю напора в фильтре и иногда в такой сильной степени, что производительность последнего или продолжительность одного периода работы чрезмерно уменьшается.

Также имеет большое значение и конструкция выпуска воды с отстойника или конструкция сопряжения этого выпуска с трубопроводом, ведущим воду на фильтры. Часто отстойники попарно соединены между собой, так, что вода, переливаясь в круговые желоба, попадает из последних в общий (для каждого из двух отстойников) «карман». Дно последнего имеет отверстие, служащее началом трубопровода распределительной сети, направляющей воду на фильтры. Высота слоя воды в таком «кармане» от дна его (фиг. 303) должна составлять не менее 0,5 — 0,75 м с тем, чтобы в этом месте была исключена возможность засасывания воздуха.

Влияние величины диаметра вертикального (цилиндрического) отстойника на его работу. Коэффициенты использования вертикальных цилиндрических отстойников различных диаметров при всех одинаковых условиях не равны между собой: они уменьшаются с увеличением диаметра отстойников и увеличиваются с уменьшением диаметра их.

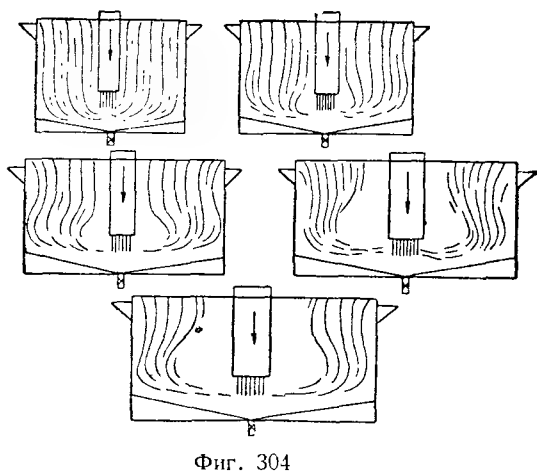
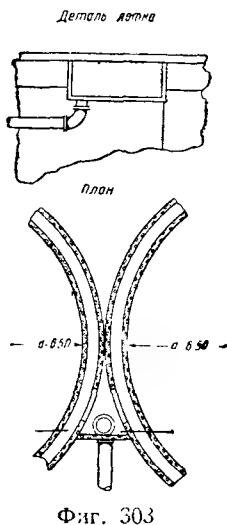
Лишь в отстойниках малых диаметров может наблюдаться движение, близкое к равномерному движению, распространенному по всему сечению отстойника; с увеличением диаметра отстойника при той же высоте движение становится все более и более неравномерным; чем больше диаметр отстойника, тем меньшая часть его используется.

На фиг. 304, достаточно наглядно (но не совсем точно) воспроизводящей характер движения воды в отстойнике, видно, что с увеличением диаметра вертикального цилиндрического отстойника увеличивается объем неиспользованной его части. Несомненно, и в этой части имеет место движение отдельных струй воды, но эти струи отстают в своем движении от всей массы воды, и указанный объем отстойника практически используется мало.

Влияние формы вертикального отстойника (цилиндр, прямоугольный параллелепипед) на его работу. Опытами установлено, что коэффициенты использования вертикального цилиндрического отстойника и вертикального отстойника квадратного поперечного сечения при одинаковой высоте отстойников и равных площадях поперечного сечения одинаковы; характер движения струй в обоих отстойниках одинаков.

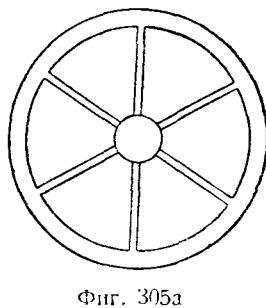
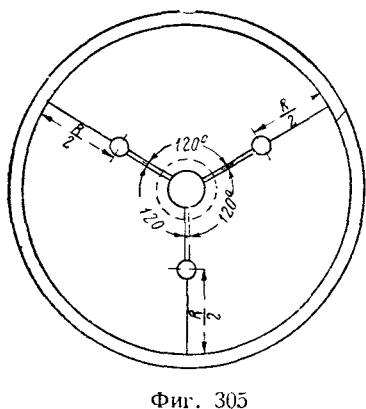
Влияние высоты вертикального отстойника на его работу. Высота отстойника оказывает огромное влияние на его работу; с увеличением высоты вертикального отстойника увеличивается и коэффициент его использования.

Наблюдения за характером движения струй показали, что по выходе из центральной трубы они движутся в нижней части отстойника и распределяются здесь примерно одинаково независимо от того, какова высота отстойника (при неизменных прочих условиях); некоторая определенная часть отстойника внизу мало используется.



На некоторой высоте от дна, одинаковой для отстойников с различными высотами, движение распространяется на большей площади поперечного сечения отстойника, увеличивающейся по мере удаления от нижней части отстойника.

Таким образом, по мере удаления от нижней части отстойника движение струй воды все более и более приближается к равномерному, сечения отстойника, расположенные выше, используются все более и более и на некоторой высоте от дна движение происходит почти по всему сечению отстойника; при приближении к желобам струи устремляются к ним.



Влияние конструкции впуска воды (система центральных труб) в вертикальном отстойнике на его работу. На работу вертикального отстойника оказывает влияние конструкция впуска воды. Измененная против обычной конструкция впуска изображена на фиг. 305. Вода, подлежащая отстаиванию, поступает в среднюю трубу, закрытую снизу. Из средней трубы вода попадает в три трубы, выполняющие роль центральных труб отстойника. Скорости в этих трубах равны 75 — 120 м/ч.

Движение струй в отстойнике группируется вокруг каждой из центральных труб, что в совокупности приводит к сильному увеличению коэффициента использования, лучшему использованию емкости отстойника и, следовательно, к луч-

шему эффекту его работы. Число труб может быть запроектировано в зависимости от диаметра отстойника.

Влияние конструкции выпуска воды (система переливных желобов) в вертикальном отстойнике на его работу. Обычной конструкцией, осуществляющей прием воды с вертикального цилиндрического отстойника, является круговой переливной желоб, расположенный в верхней части отстойника по его внешней окружности.

При установке дополнительных переливных (радиальных) желобов, идущих от центральной трубы к стенкам отстойника (фиг. 305а), слив воды с последнего осуществляется не только по внешней окружности, но и с поверхности воды, с которой совпадают кромки радиальных переливных желобов.

Сравнение результатов работы отстойника с обычной конструкцией выпуска и названной конструкцией показало резкое увеличение коэффициента использования (например с 43 до 72% и с 42 до 63%).

Сильное увеличение коэффициента использования отстойника с системой радиальных желобов для выпуска воды является результатом изменения движения струй в отстойнике, вследствие чего уже на небольшом расстоянии от дна отстойника большая часть струй движется по направлению снизу вверх, распространяясь почти по всему поперечному сечению отстойника.

§ 10. Принципы конструирования и проектирования вертикальных отстойников

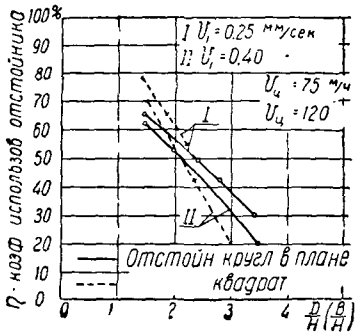
Проектирование отстойников необходимо вести на основе технико-экономических расчетов с учетом местных условий. Эти условия приводят к проектированию одного или нескольких отстойников (горизонтальных или вертикальных) большей или меньшей емкости, большей или меньшей высоты, увязываемой с профилем местности и взаимным расположением сооружений, открытых или перекрытых, стоящих особо или находящихся в одном здании с фильтрами, и т. д. Поэтому рекомендовать единый тип отстойников для всех случаев является невозможным.

К числу рациональных конструкций следует отнести:

1. Вертикальный отстойник обычной конструкции с малым отношением $\frac{D}{H}$, не превышающим 1,5. Указанное отношение, как это следует из ряда опытов, результаты которых приведены в табл. 12, гарантирует достаточно хороший коэффициент использования.

Таблица 12

Отношение $\frac{D}{H}$	Коэффициент использования отстойников, полученный в ряде опытов, в %	
	при скорости движения воды 0,25 м/сек	при скорости движения воды 0,40 м/сек
1,5	65,4	62,5
2,0	55,7	51,6
2,5	50,6	49,0
2,75	43,8	42,0
3,50	30,0	19,9



Фиг. 305б

Принимая во внимание обычную среднюю высоту вертикального отстойника около 5 — 6 м, при обычной конструкции впуска и выпуска воды можно рекомендовать диаметр отстойника около 7,5 — 9 м или несколько более.

2. Вертикальный отстойник квадратного поперечного сечения. Эти отстойники можно рекомендовать с отношением $\frac{B}{H}$, равным примерно 1,5. Представленные на фиг. 305б кривые показывают изменения коэффициента использования в зависимости от отношения D к H и B к H .

3. Вертикальный отстойник секционного типа. Может представиться весьма целесообразным проектирование одного прямоугольного вертикального отстойника, состоящего из отдельных секций, из которых каждая представляет собой вертикальный отстойник с квадратным поперечным сечением с малым отношением $\frac{B}{H}$ и с самостоятельным впуском и выпуском воды. Каждая секция такого отстойника будет работать с большим коэффициентом использования, и таким образом, весь отстойник секционного типа будет работать с большим коэффициентом использования. Впуск воды в каждый из отстойников может производиться из общего желоба или распределительного устройства и выпуск — в общую трубу, соединенную с переливными желобами каждого из отстойников.

4. Вертикальный отстойник с впуском воды при помощи нескольких труб. Эту конструкцию следует рекомендовать в тех случаях, когда при проектировании отношение $\frac{D}{H}$ принимается большим 1,5; такую же конструкцию впуска рекомендуется применить и там, где уже выстроенные отстойники, имеющие большой диаметр, работают неудовлетворительно.

5. Вертикальный отстойник с выпуском воды в систему переливных желобов, равномерно распределенных у поверхности воды в отстойнике. Эту конструкцию рекомендуется применять в тех же случаях, как и конструкцию, указанную в п. 4. Устройство радиальных желобов улучшает работу каждого отстойника независимо от его размеров. Стоимость желобов относительно мала, эффект же их устройства значителен.

6. Вертикальный отстойник смешанной конструкции, где одновременно могут быть применены и использованы преимущества отдельных названных конструкций.

В отдельных случаях может представиться целесообразным применить одновременно отстойник квадратного сечения с системой переливных желобов, отстойник с несколькими центральными трубами и системой переливных желобов и т. д.

В каждом из проектируемых вертикальных отстойников скорости движения воды в них, а равно и в центральных трубах, длины центральных труб, элементы впуска воды в центральную трубу и отдельные элементы конструкции должны соответствовать наилучшему гидравлическому режиму, ибо последний в значительной степени определяет и технологический эффект работы отстойников.

Выбор той или иной конструкции, как это было указано, должен осуществляться в каждом отдельном случае на основе тщательного изучения местных условий и экономики вопроса.

§ 11. Некоторые основания к технико-экономическому сравнению вертикальных отстойников

Одним из основных измерителей при решении вопроса о целесообразности постройки того или иного типа отстойников обычно является их стоимость, отнесенная к 1 м³ часовой (суточной) производительности:

$$S_1 = \frac{S}{Q},$$

где S_1 — стоимость, отнесенная к 1 м³;

S — полная стоимость;

Q — расход.

Это положение может иметь исключение, например при сравнении стоимости отстойников железобетонных и из бутового камня; последние даже при более низкой стоимости нами не рекомендуются.

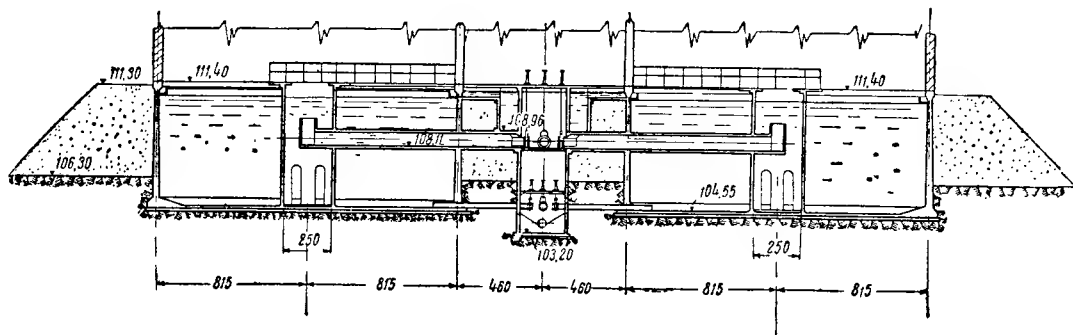
При проектировании могут сравниваться следующие варианты:

- а) отстойники круглые в плане, расположенные в здании фильтров;
- б) отстойники круглые в плане, расположенные вне здания фильтров;
- в) отстойники квадратные, расположенные в здании фильтров;

г) отстойники горизонтальные прямоугольные, расположенные вне здания фильтров.

На фиг. 306 представлены в разрезе вертикальные отстойники одной из станций обработки воды.

Вода подводится лотком из распределительного колодца в центральные трубы отстойников. Отстоявшаяся вода из переливных желобов поступает в центральный колодец и далее идет на фильтры.

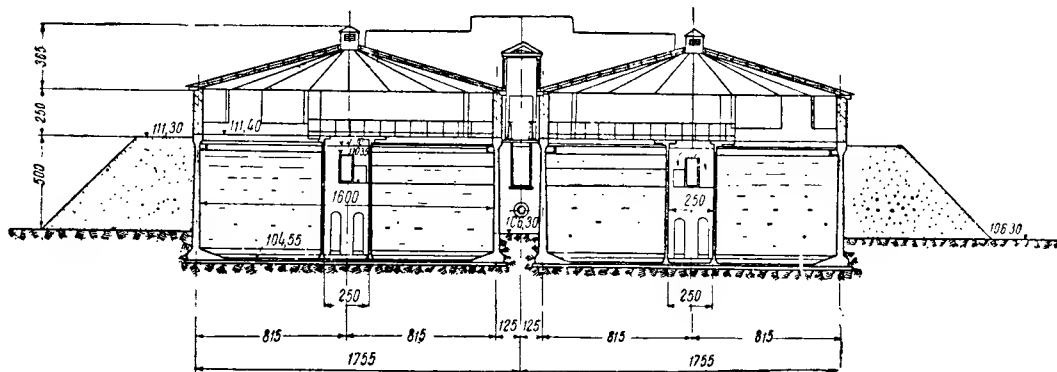


Фиг. 306

Дно в рассматриваемой конструкции имеет малый уклон (в особых случаях уклон принимают до $30 - 40^\circ$), из отстойников идут трубы для спуска осадков.

На фиг. 306а показано перекрытие отстойников, расположенных вне здания фильтров.

На фиг. 307 и 307а показаны вертикальные отстойники с камерами образования хлопьев.

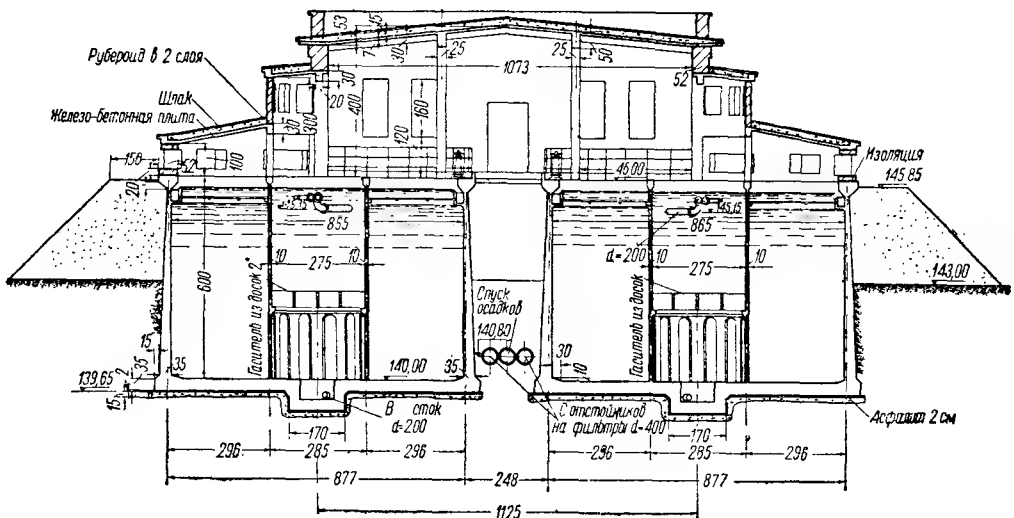
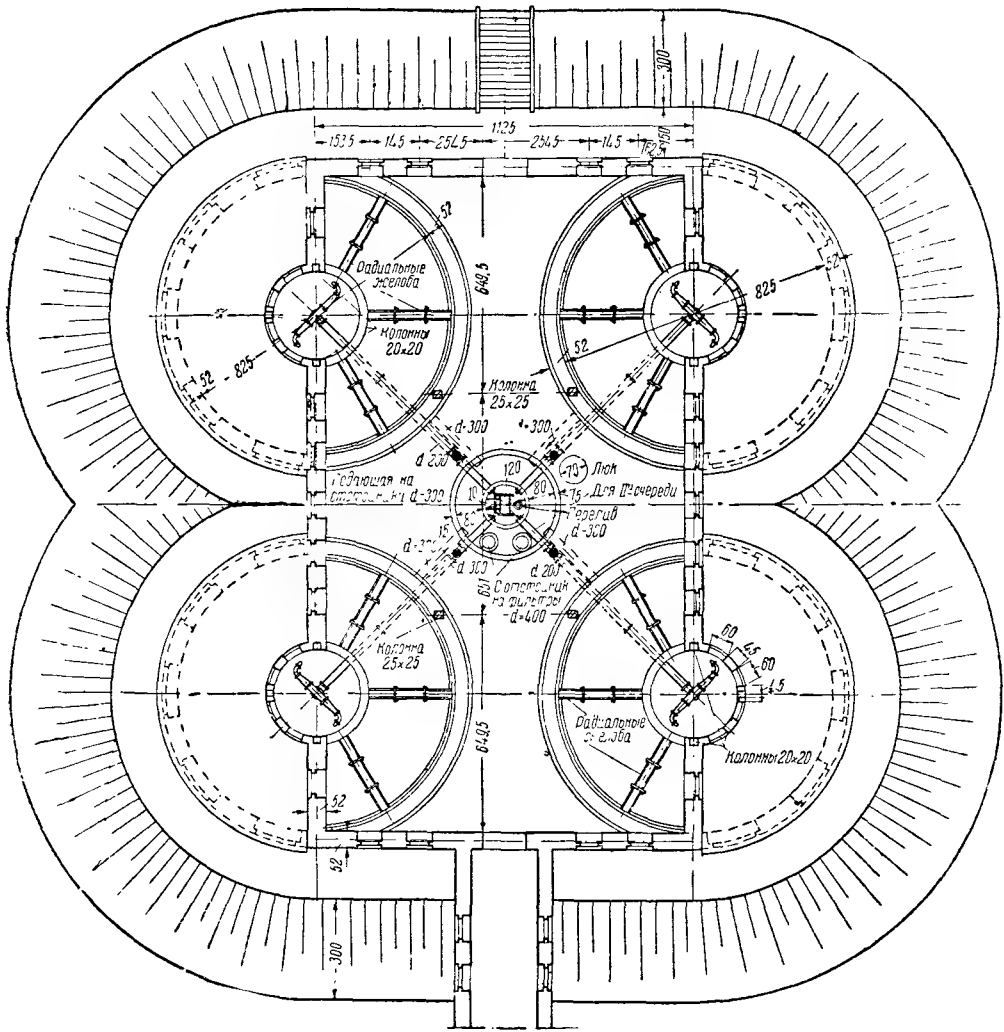


Фиг. 306а

В стоимость отстойников должны быть включены:

- а) стоимость железобетонной конструкции отстойников;
- б) стоимость центральных труб, трубопроводов и каналов, арматуры и прочего оборудования;
- в) стоимость здания в соответствующей части (если отстойники расположены внутри здания).

Круглые в плане отстойники, расположенные вне здания, необходимо перекрывать и утеплять. Перекрытие (чаще всего купол с фонарем) может быть довольно сложным и требовать некоторого увеличения строительной высоты сооружения, ибо необходим доступ к желобам, трубам и т. д. для их монтажа и ремонта и для наблюдения за работой отстойников. Указанные отстойники вне здания несколько усложняют планировку всей станции обработки воды.



Отстойники квадратные в плане обычно располагаются в здании, ибо они позволяют осуществлять хорошую планировку внутри здания.

Сравнение отстойников с учетом результатов статического расчета, учетом потребной площади и кубатуры здания для отстойников и для прокладки трубопроводов показало, что круглые отстойники обычно несколько дешевле квадратных при объеме до 800 м³ и имеют примерно одинаковую стоимость при несколько большем объеме, при объемах же свыше 1 000 м³ отстойники круглые в плане дороже квадратных.

Наименьшую стоимость в ряде случаев имели цилиндрические круглые в плане отстойники, расположенные вне здания, несколько дороже такие же отстойники, расположенные в здании, и еще несколько дороже отстойники квадратные в плане, расположенные в здании.

Следует, однако, иметь в виду, что приведенные соотношения стоимостей не являются совершенно обязательными для всех случаев. Планировка таких сложных сооружений, как станции обработки воды, в особенности станции умягчения воды, играет весьма существенную роль, могущую отразиться на экономике. Поэтому в настоящее время довольно часто встречаются станции с квадратными отстойниками. Окончательное решение вопроса в каждом отдельном случае должно быть дано в результате тщательного технико-экономического анализа.

§ 12. Расчет вертикальных отстойников

Если Q — расход, F — площадь поперечного сечения отстойника или площадь в плане, v_2 — вертикальная скорость движения взвеси или хлопьев коагулянта, v_1 — вертикальная скорость движения воды (расчетная) и η — коэффициент использования отстойника, то

$$\frac{Q}{F} = v_1 \text{ или } \frac{Q}{F\eta} = \frac{v_1}{\eta}.$$

Для осаждения взвеси в отстойнике во избежание выноса ее из него необходимо, чтобы

$$v_2 \geq \frac{v_1}{\eta} \text{ или } v_2 \geq \frac{Q}{F\eta},$$

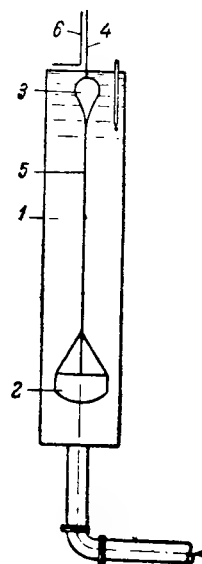
откуда

$$F \geq \frac{Q}{\eta v_2},$$

Истинное движение воды и взвеси в отстойнике происходит в отдельных местах по довольно сложным траекториям, что лишь в грубо осредненном виде учитывается введением в формулу коэффициента использования отстойника. Определение v_2 после решения вопроса о том, какие взвешенные вещества и до каких предельных их величин отстойник должен будет задержать, может быть проведено лишь в лабораторных условиях и возможно в редких случаях (некоагулированная взвесь) теоретическим путем.

В последнее время разрабатывался метод исследования взвеси прибором «интегратор взвеси»¹.

Прибор (фиг. 308) состоит из цилиндра 1 с исследуемой водой, чашечки 2, в которую осаждается взвесь, и поплавка 3 с указателем — тонким стержнем 4; чашечка подвешена к поплавку на нити 5. Поплавок так подобран, что вместе с чашечкой находится в равновесии. При осаждении взвеси последняя на глубине погружения чашечки (около 1,5 м) садится в ней, вследствие чего чашечка постепенно опускается. Глубина погружения зависит от количества осадка, осевшего в чашечке, и отсчитывается по шкале 6. Результаты опытов выпадения взвеси изображаются в виде кривой (фиг. 309), строящейся на основании наблюдений за движением чашечки.



Фиг. 308

¹ Институт Водгео (инж. Б. Яснов).

Первый участок кривой (начало) — хлопьеобразование, второй (подъем кривой) — процесс осаждения, третий — конечная стадия процесса осаждения. Участки кривых отражают изменение скорости выпадения взвеси. Автором излагаемого метода определялись и величины максимальных скоростей выпадения отдельных фракций или групп взвеси.

Дальнейшее углубление вопроса позволило автору дать начертание кривой осадка (теоретической).

Возможно, что по освоении метода и прибора он, будучи использован в отстойнике на некоторой глубине h , позволит определять средние скорости, с которыми будут выпадать определенные фракции взвеси, с учетом реальных условий движения здесь воды и взвеси.

Так как данные для отдельных видов взвеси и хлопьев коагулянта отсутствуют или не систематизированы, то принимают теоретическое время пребывания воды в отстойнике (для обычных условий при обработке питьевой воды при наличии камеры образования хлопьев — 2 часа, в редких случаях при наличии большого количества мелкой взвеси — больше), задаются на основе высотной схемы возможным H отстойника и определяют величину v_1 :

$$\frac{v_1 \cdot 3600 B_m}{1000} = H \text{ или } v_1 = \frac{H}{3,6 B_m} \text{ мм/сек.}$$

Последняя должна быть в пределах 0,5 — 0,75 мм/сек.

Если Q в $\text{м}^3/\text{ч}$, F в м^2 , то

$$F = \frac{Q \cdot 1000}{v_1 \cdot 3600} = \frac{Q}{3,6 v_1} \text{ м}^2.$$

Площадь центральных труб

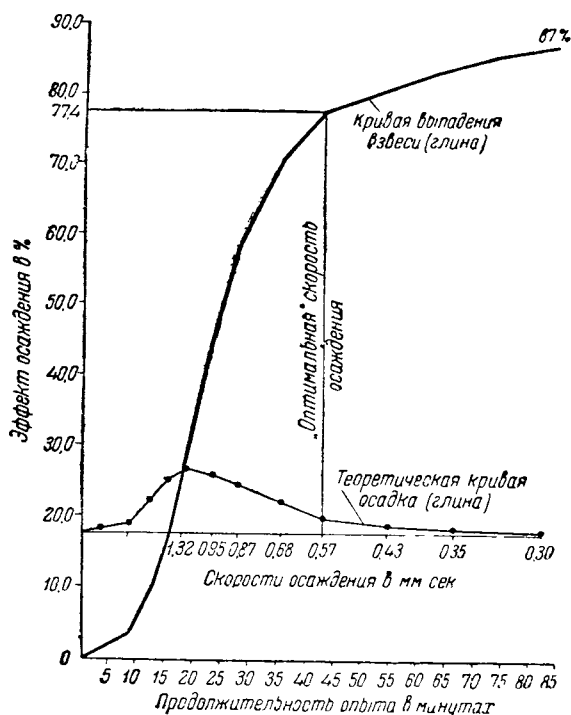
$$f = \frac{Q}{3,6 v_u},$$

где v_u — скорость в центральной трубе (в указанных выше пределах) в мм/сек.

Общая площадь сечения отстойников равна $F + f$.

Далее намечается число отстойников и определяется диаметр D каждого из них и диаметр d_u центральной трубы. Отношение $\frac{D}{H}$ должно соответствовать

указанному выше; если это не имеет места, то изменяют D или осуществляют указанные мероприятия по улучшению коэффициента использования (радиальные желоба и пр.).



Фиг. 309

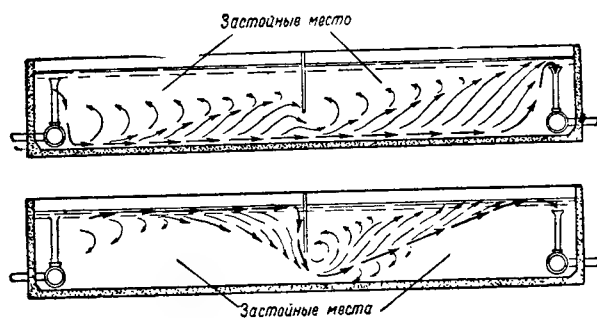
§ 13. Горизонтальные отстойники

Горизонтальные отстойники на жел.-дор. транспорте могут найти более ограниченное применение по сравнению с вертикальными.

Как уже указывалось, неравномерность движения здесь сказывается в большей степени, чем в вертикальных. Коэффициент использования в существующих конструкциях колеблется в пределах от 0,20 до 0,50 (последний — в редких случаях).

Влияние температур воды здесь также имеет место; большое влияние на коэффициент использования отстойника и на эффект его работы оказывают конструк-

ции впуска и выпуска. Для предупреждения струйного течения воды, стремящейся пройти от впуска к выпуску кратчайшим путем, минуя значительные объемы отстойника, внутри последнего устраиваются перегородки.



Фиг. 310

метно струй воды, стремящихся к впуску, как это имеет место в некоторых из рассмотренных отстойников.

Отстойник водоумягчителя «Струя горизонтальная» (фиг. 276) в настоящее время не проектируется, но встречается в ряде жел.-дор. водоснабжений.

На фиг. 310 показан характер движения воды в горизонтальном отстойнике. Вверху изображено движение струй при поступлении в отстойник более плотной воды, внизу — менее плотной.

На фиг. 311 показан характер движения воды в небольшом отстойнике. На фиг. 312 показан отстойник, перегородки которого создают несколько лучший характер движения воды; здесь неза-



Фиг. 311

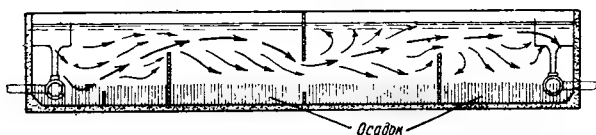
Следует отметить, что инерция массы воды, поступающей в горизонтальный отстойник со значительной скоростью, резко снижает эффект работы части отстойника вблизи впуска: осаждение здесь взвеси (за исключением крупной) вследствие больших скоростей движения воды затруднено. Эта часть отстойника должна быть сведена к возможному минимуму путем устройства наиболее рационального впуска.

а) Влияние вертикальных перегородок в горизонтальных отстойниках

Установлено, что коэффициент использования горизонтального отстойника без вертикальных поперечных перегородок незначителен и что вертикальные поперечные перегородки у горизонтальных отстойников способствуют более равномерному распределению движущихся струй по сечению отстойника, способствуют созданию более нормальных скоростей движения, ведут к улучшению коэффициента использования отстойника, к улучшению эффекта осаждения взвеси.

Нужно думать, что в отдельных случаях при незначительном числе поперечных перегородок, служащих для направления и распределения струй по всему сечению отстойника, эффект осаждения настолько улучшится, что процесс осаждения будет выполнен более коротким. Естественно, что у отстойников большей длины значение перегородок меньше, чем у отстойников меньшей длины. Влияние каждой последующей перегородки меньше влияния предыдущей.

Количество перегородок может быть рекомендовано две-три, из них одна



Фиг. 312

в непосредственной близости от выпуска и одна-две у впуска и далее за ним. Коэффициент использования горизонтальных отстойников с поперечными перегородками и вертикальными щелями в них несколько выше, чем с горизонтальными щелями, и лишь незначительно отличается от коэффициента использования отстойников с дырчатыми перегородками. Осуществление перегородок с вертикальными щелями простое и устройство их в тех случаях, когда проектируются горизонтальные отстойники, может иметь место наравне с дырчатыми перегородками. Скорости в щелях и отверстиях принимают в пределах $0,3 \text{ м/сек}$. В качестве конструкции впуска и выпуска в горизонтальных отстойниках могут быть применены и дырчатые желоба с отверстиями в дне. Эти отверстия могут быть выполнены и в боковой стенке желоба. Скорости, значительно превышающие указанную, принимать не следует, так как хлопья коагулянта будут разрушаться; в этом смысле желательны более крупные отверстия, несколько расходящиеся в направлении движения воды.

По мере удаления от впуска идет нарастание коэффициента использования (по отдельным секциям) и лишь непосредственно у выпуска вследствие влияния последнего — некоторое уменьшение его.

В практике проектирования горизонтальных отстойников встречаются отстойники с перегородками, не доходящими до низа и верха (фиг. 312).

Коэффициент использования секции, находящейся непосредственно за перегородкой, не доходящей до верха, значительно ниже остальных секций (не считая, конечно, первой) вследствие большего движения струй в этой секции по верху.

Коэффициент использования всего отстойника сравнительно большой (около 50%) и несколько больше коэффициента использования отстойника с вертикальными перегородками и вертикальными щелями в них.

Струи движутся вниз, вверх, снова вниз и снова вверх. Движение хлопьев и взвеси, происходящее под влиянием равнодействующей ряда сил и ряда скоростей, протекает поэтому в каждой секции в различных условиях — благоприятствующих движению и неблагоприятствующих.

Эти различные условия, отличающиеся от аналогичных условий в прочих горизонтальных отстойниках, тем меньше будут влиять на процесс и эффект осаждения, чем тяжелее будет сама взвесь. Поэтому отстойники с чередующимися перегородками, не доходящими до низа и верха, ведущими к созданию противоположных движений воды, можно допускать лишь при наличии тяжелой взвеси или очень большого количества взвешенных веществ, когда вода, не освобожденная от них, может иметь удельный вес несколько больший, чем вода осветленная.

В ряде случаев рекомендовался открытый горизонтальный отстойник с окнами в поперечных перегородках. Такой отстойник запроектирован и построен на ряде водопроводов, в частности в Донбассе, и показал плохую работу вследствие неблагоприятного гидравлического режима.

Кроме того, конструкция открытого отстойника способствует еще ухудшению его работы. Отсутствие перекрытия ведет к нагреванию верхних слоев воды летом и промерзанию их зимой, т. е. к изменению плотности воды в отстойнике в верхних его слоях.

Отсутствие перекрытия может привести к развитию летом на поверхности отстойника (в застойной части) водорослей, к загрязнению верхних слоев воды в отстойнике и, как указано, к образованию зимой в отстойнике льда.

б) Влияние длины горизонтального отстойника на его работу

Первая секция отстойников у впуска значительной роли в непосредственном процессе отстаивания играть не может, так как имеющиеся здесь сильные вихревые движения приводят к очень низкому коэффициенту использования этой части отстойника. Далее, по мере удаления от конструкции впуска струи воды движутся все в большей и большей части сечения отстойника и далее по всему сечению.

С увеличением длины горизонтальных отстойников увеличивается и коэффициент их использования.

В каждом отдельном случае, зависящем от конструкции отстойника, от скорости движения струй, от характера взвеси, условий хлопьеобразования и условий выпадения взвеси, по длине отстойника может быть намечен некоторый оптимум, далее которого увеличивать длину практически нет нужды, так как это нарушит основную установку о возможном уменьшении объема отстойника и одновременном получении хорошего эффекта осаждения.

В ряде случаев для уменьшения неравномерности движения отстойники выполняют с продольными перегородками, направляющими движение, а в последнее время довольно широко применяют перегородки, обуславливающие движение «вокруг концов» (фиг. 313 и 314).

в) Влияние глубины горизонтального отстойника на его работу

Вопросу глубины отстойника в большинстве случаев проектирования не придают должного значения, между тем

$$B_m = \frac{H}{v_2},$$

где H — высота отстойника;

v_2 — скорость выпадения взвеси; поэтому с уменьшением H должно уменьшиться и B_m , т. е. время отстоя. Вообще говоря, из трех измерений отстойника, оказывающих влияние на его работу, глубина может иметь большое значение.

Условная схема распределения скоростей в горизонтальном отстойнике показывает, что взвесь задерживается в том случае, если равнодействующая скорость движения взвеси пересекает основание отстойника. Это и подтверждает целесообразность принятия в ряде отстойников меньшего H , так как при меньшей глубине указанное пересечение осуществимо скорее.

Целый ряд наблюдений за осаждением взвесей в отстойниках убедил в том, что при коагулировании могут встретиться случаи, когда в верхней части отстойника движутся хлопья очень мелкие, а в нижней части — более крупные, и в этих случаях, естественно, может представиться целесообразным выполнить отстойник большей глубины, т. е. здесь имеет существенное значение вопрос, связанный с местом, временем и вообще динамикой образования хлопьев.

Иначе происходит при осаждении взвеси без коагуляции или при коагуляции, но при обязательном постоянном наличии в воде совершенно сформировавшихся хлопьев еще до поступления в отстойник. В этом случае достаточный эффект осаждения может быть получен и при уменьшении глубины отстойника.

Естественно поэтому, что с устройством хорошо действующей камеры образования хлопьев отстойник может быть принят несколько меньшей глубины, чем в том случае, когда такая камера отсутствует.

Глубина отстойников чаще всего встречается в пределах 3,5—6 м; при этом следует принять во внимание, что определенная глубина отстойника предназначена и для накопления осадка, в особенности в тех случаях, где количество взвешенных веществ в воде велико и где дозы коагулянта значительны.

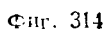
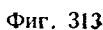
Следует еще заметить, что в некоторых частях горизонтальных отстойников иногда имеет место движение взвеси не в том направлении, в каком его себе представляют, а в противоположном. Это является результатом весьма сложных явлений движения воды в некоторых частях отстойника. Здесь может сказаться влияние сильно возросших скоростей движения соседних струй, также несущих взвесь; здесь могут оказывать влияние отдельные элементы конструкции отстойника, распределение температур воды в отстойнике, обратные токи воды, наблюдаемые в ряде случаев, и т. д.

§ 14. Практика строительства горизонтальных отстойников

На фиг. 313 представлена схема, дающая одно из принятых решений планировки отстойников и станции для обработки питьевой воды. Передняя часть отстойников непосредственно входит в здание фильтров, что упрощает обслуживание и контроль и, кроме того, достаточно экономично в отношении потребной кубатуры здания станции.

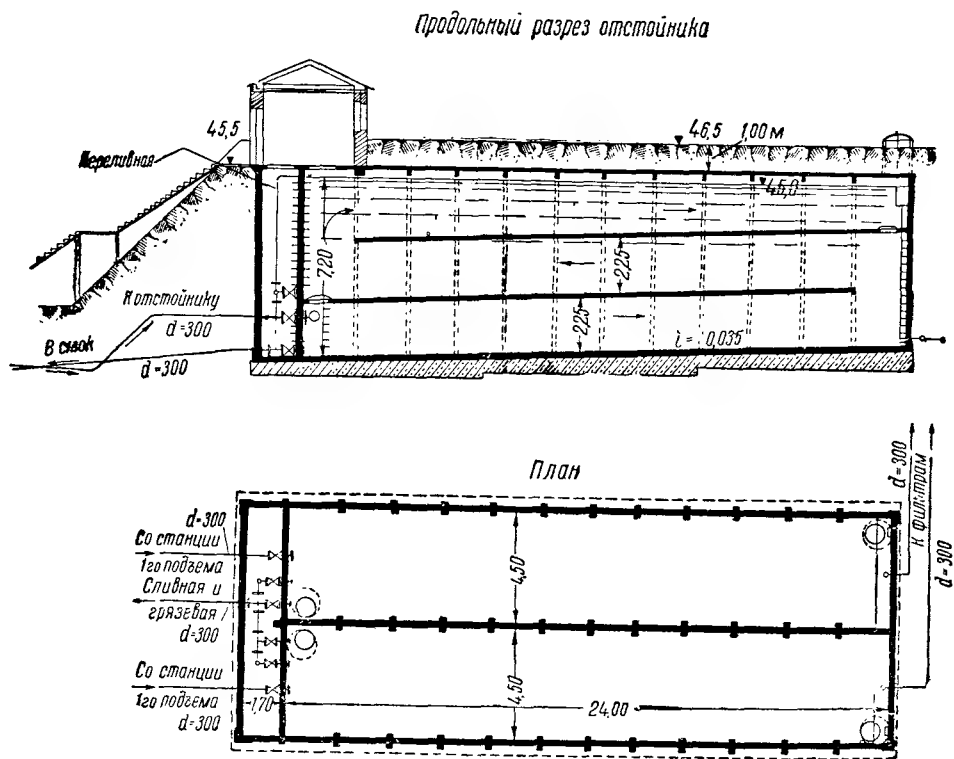
в каждой из них, удлиняющей путь и способствующей более равномерному движению воды. Конструкция выпуска — дырчатая перегородка, конструкция выпуска — дырчатый жолоб.

На фиг. 315 изображен железобетонный отстойник, разделенный на три этажа горизонтальными перегородками, что удлиняет путь, проходимый водой. При соответствующем рельефе местности и необходимости иметь достаточно высокую отметку воды в отстойнике, вызываемую расположением фильтров, такой отстойник вполне приемлем. Гидравлический режим его работы благоприятен, очистка от осадков сложнее, чем у обычных отстойников.



Горизонтальные отстойники, если исходить только из их строительной стоимости, экономичней вертикальных. Исключение могут составить лишь отстойники таких малых емкостей, как 100 — 150 м³.

Перекрытие отстойников чаще всего делается железобетонное, ребристое, утепленное слоем земли в 0,2 м, нередко укладываемой поверх небольшого слоя асфальта (2,5 см); для стока воды делается уклон порядка 0,01; в перекрытии оставляются лазы: вокруг наружных стен отстойника необходима отмостка. Под всем днищем отстойника иногда может быть устроена дренажная сеть, чтобы от-



Фиг. 315

водить случайно проникающую туда воду и воспрепятствовать деформации грунта. Одновременно этот дренаж может служить и для контроля водонепроницаемости отстойника.

§ 15. Расчет горизонтальных отстойников

Пусть Q — расход в м³/ч;

H — средняя высота отстойника, принимаемая на основании высотной схемы в пределах 3,5 — 6 м;

B_m — время пребывания воды в отстойнике (теоретическое) в часах;

v_1 — скорость движения воды в отстойнике в мм/сек;

v_2 — скорость выпадения взвеси в мм/сек.

Теоретическое время пребывания воды в отстойнике:

$$B_m = \frac{H \cdot 1000}{v_2 \cdot 3600} = \frac{H}{3,6 \cdot v_2} \text{ час.}$$

Принимаем B_m в пределах 2—2,5 час. (редко больше). Тогда

$$v_2 = \frac{H}{3,6 B_m} \text{ мм/сек},$$

$$v_1 = \frac{v_2 l}{H} \text{ мм/сек}.$$

Следует помнить, что v_1 в определенных пределах не оказывает основного влияния на работу отстойника, будучи расположенной нормально к скорости v_2 , но для этой скорости имеется предел, далее которого она оказывает тормозящее влияние на выпадение взвеси. Значения v_1 в зависимости от $\frac{l}{H}$ уже указывались.

Выбираем отношение $\frac{l}{H}$, принимаемое примерно в пределах 10—40 (для малых отстойников меньше 10, для очень больших — больше 40). Тогда, зная H , определяем l и полную ширину отстойника:

$$A = \frac{Q}{3,6 \cdot v_1 H}.$$

Ширина A может быть составлена из n частей, т. е. отстойник разделен на n отделений; при этом следует иметь в виду и соображения конструктивного порядка (величина пролетов для перекрытия). Если при этом l окажется очень большим по сравнению с $\frac{A}{n}$, то длина также может быть составлена из двух частей, т. е. можно осуществить движение воды вокруг перегородки, что может дать возможность лучшей планировки сооружения. Далее остается запроектировать и рассчитать конструкцию впуска и выпуска.

Принимая дырчатые перегородки или перегородки с вертикальными щелями, намечают количество и величину отверстий или щелей, исходя из допускаемой скорости в них, примерно 0,3—0,35 м/сек.

§ 16. Эксплуатация. Выпуск и использование осадка из отстойников

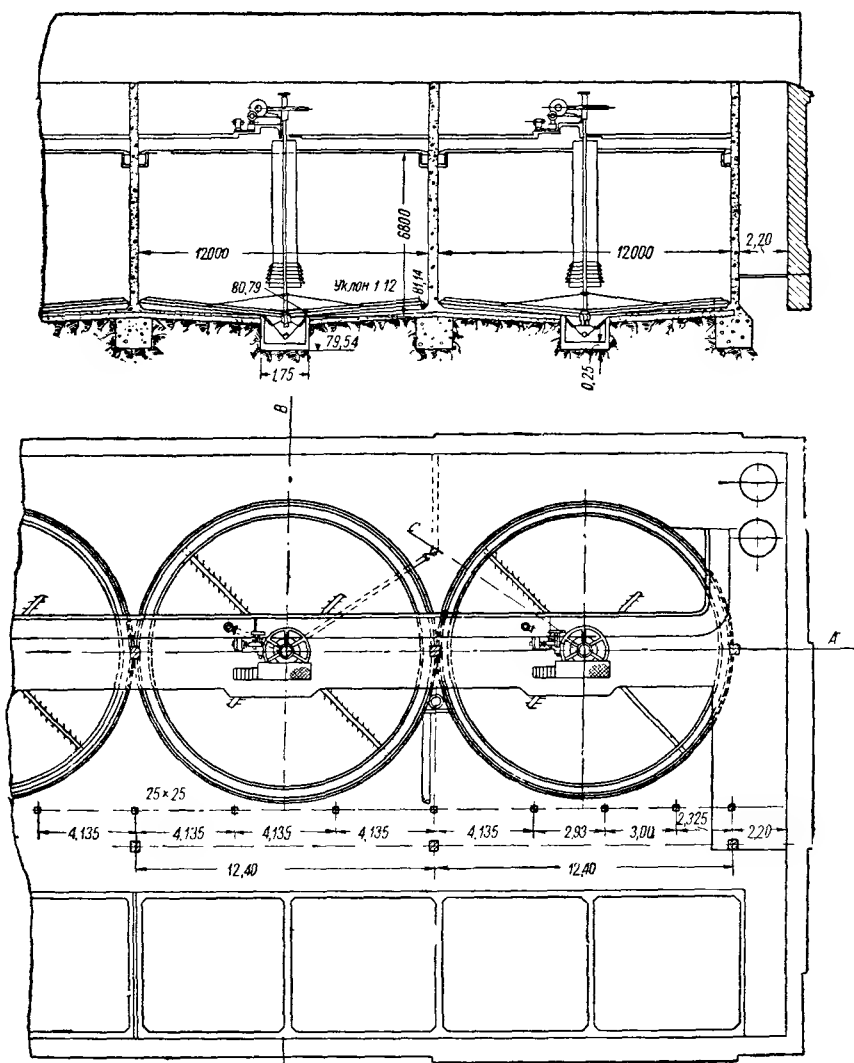
Эксплуатация отстойников заключается в надзоре за их работой и периодическом удалении осадка.

Наиболее удобны в обслуживании вертикальные отстойники, расположенные в здании; достаточно удобны горизонтальные отстойники согласно схеме фиг. 313, так как в них возможен доступ к трубопроводам, задвижкам и т. д. Кроме того, можно видеть поступающую в отстойник и осветленную воду. Станции обработки воды с вертикальными отстойниками, выстроенными вне здания фильтров, иногда работают в худших условиях, так как для контроля работы отстойников рабочим и техническому персоналу необходимо оставлять здание фильтров, что часто неудобно.

Удаление осадка является серьезной задачей в эксплуатации. Лишь вертикальные отстойники относительно небольших размеров (D не более 6—6,5 м) при наличии дна с большим уклоном позволяют без труда удалить осадок в канализацию давлением столба воды. Для этого периодически спускают небольшой столб воды (до 1 м), вместе с которой уходит и осадок. Устройство дна отстойника значительных размеров с большим уклоном затруднительно, дорого или для больших отстойников почти невозможно и не может быть оправдано экономически.

При большом количестве взвешенных веществ (например 3 000 мг/л и более) или при больших количествах осадка, вызываемых процессами обработки воды (некоторые случаи умягчения известью или известью и содой), могут быть использованы механические приспособления.

На фиг. 316 показана станция обработки питьевой воды с отстойниками со скребками Дорра; на фиг. 317 — отдельно эти скребки в одном отстойнике. При небольших количествах взвеси устройство таких приспособлений нецелесообразно; однако аналогичные приспособления становятся совершенно необходимыми при очень больших количествах взвеси, в частности в ряде случаев при умягчении воды известью. К сожалению, вопросам механизации удаления осадков мы пока еще не уделяли должного внимания.



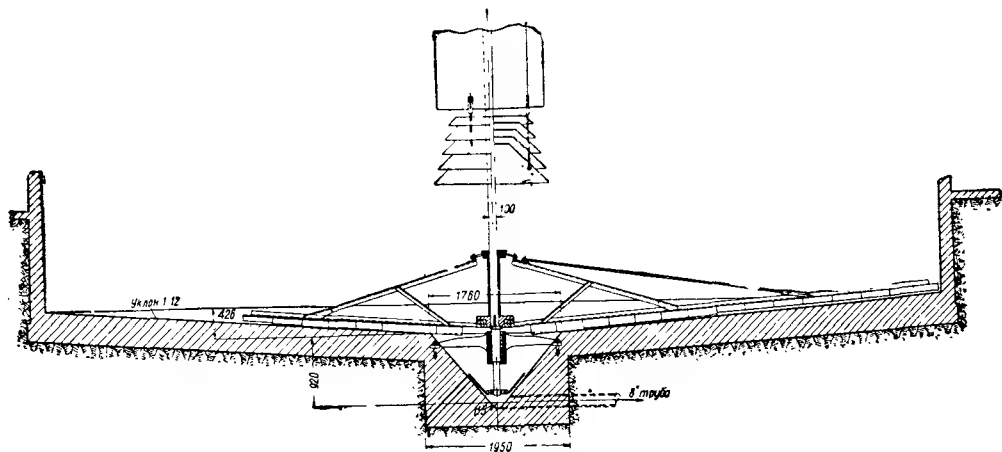
Фиг. 316

Осадок из горизонтальных отстойников удаляется вручную струей из брандспойта и смывается к лоткам и углублениям, устраиваемым в дне отстойника. Поперечный уклон дна к лоткам около 0,05, продольный уклон дна и лотков около 0,02.

Случаи применения механических приспособлений или отсасывания осадка специальными приборами или насосами очень редки. За границей применяется ряд устройств, и по этому пути необходимо пойти и нам, в особенности при проектировании станций умягчения воды.

На фиг. 318 представлена одна из схем механизации удаления осадка из горизонтального отстойника.

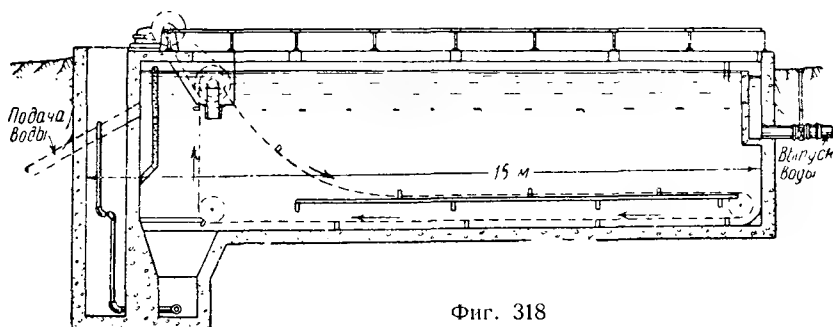
Для малых сооружений и при наличии водоема для спуска осадков выпуск их в указанный водоем не представляет сложной задачи. Для больших станций обработки питьевой воды при устройстве выпуска осадков из отстойников нужно



Фиг. 317

учитывать, что: а) осадки могут загрязнять водоем и б) осадок содержит в большом количестве гидроокись алюминия, представляющую определенную ценность.

Были попытки регенерировать осадок обработкой его серной кислотой с целью дальнейшего использования регенерированного осадка в качестве коагулянта для очистки питьевой воды. Удовлетворительных результатов не получено, хотя есть указания о возможности использования регенерированного осадка, обладающего хорошей коагулирующей способностью, но ухудшающего качество воды, для коагуляции сточных вод. Имеются некоторые данные о возможности использования осадка в качестве коагулирующего вещества при регенерации его известью.



Фиг. 318

Возможно подсушивание регенерированного жидкого осадка на иловых площадках. В течение года можно ориентироваться на 90—100 дней (в зависимости от климатических условий), годных для подсушивания такого осадка при 10—15 последовательных поливах. Есть указания, что подсушенный осадок при запаховании может служить в качестве удобрения (это естественно должно быть проверено). Осадок может выпускаться в иловые пруды или отстойники, из которых далее может производиться полив иловых площадок. Для ориентировки следует иметь в виду, что на затрачиваемую 1 т коагулянта в отдельных случаях может приходиться объем осадка до 10 м³ и более.

§ 17. Выбор типа отстойников

Если бы выбор типа отстойника производился только по стоимости 1 м³ его емкости, то такой выбор осуществлялся бы на основании сравнительных данных о стоимости. Но так как различные отстойники при одинаковом объеме дают раз-

личный эффект обработки воды, т. е. имеют различный к. п. д., то выбор типа отстойника только на основании данных о стоимости 1 м³ его емкости был бы неправилен.

К сожалению, к. п. д. рассмотренных типов отстойников и зависимость его от различных элементов, размеров и условий работы нам неизвестны; следует полагать, что к. п. д. отстойников, имеющих одинаковую высоту и объем, зависит от фактического времени пребывания воды в отстойнике.

Если B_ϕ — время фактического пребывания воды в отстойнике, B_m — теоретическое время, η — коэффициент использования и E — емкость одного отстойника, а B'_ϕ , B'_m , η' и E' — то же для другого отстойника, то для получения при одной и той же высоте отстойника и иных равных условиях (распределение температур и пр.) одинакового эффекта работы следует полагать:

$$B_\phi = B'_\phi,$$

но

$$B_\phi = \eta B_m, \text{ а } B'_\phi = \eta' B'_m,$$

т. е.

$$\eta B_m = \eta' B'_m,$$

или

$$\frac{B_m}{B'_m} = \frac{\eta'}{\eta}.$$

Таким образом, для получения одинакового эффекта необходимы отстойники с расчетным временем пребывания в них воды, обратно пропорциональным коэффициентам использования их, или так как

$$\frac{E}{E'} = \frac{B_m}{B'_m}, \text{ то } \frac{E}{E'} = \frac{\eta'}{\eta};$$

для получения одинакового эффекта необходимо, чтобы отношение объемов отстойников было обратно пропорционально коэффициентам использования.

В соответствии с изложенным, дающим определенный подход для дальнейшего сопоставления отстойников и выбора их типа, нельзя ограничиться только сравнением стоимости, отнесенной к 1 м³, а необходимо в этом сравнении учесть еще, что $E_1 = E \frac{\eta}{\eta'}$.

Что касается коэффициента использования отстойников, то для правильно запроектированного горизонтального отстойника его следует считать в среднем не выше 0,40, для вертикального отстойника — 0,50, а с радиальными желобами — 0,60.

Таким образом, есть основание предполагать, что впредь до улучшения гидравлического режима горизонтальный отстойник даст тот же эффект, что и вертикальный лишь при емкости его, превышающей в 1,25 — 1,5 раза емкость вертикального.

Из некоторых расчетов стоимости различных отстойников с учетом всего сказанного выяснилось, что вертикальные отстойники выгоднее горизонтальных при суточной производительности до 20 000 — 30 000 м³ или несколько более.

Из изложенного ясно, что в практике жел.-дор. водоснабжения при существующих значениях коэффициента использования вертикальные отстойники должны иметь большое применение, а горизонтальные — более ограниченное.

ГЛАВА III ФИЛЬТРАЦИЯ

§ 18. Общие соображения

Вода подвергается фильтрации для окончательной задержки взвеси, оставшейся после отстаивания. Одновременно на фильтрах вода освобождается и от значительной части бактерий.

Как правило, вода фильтруется после отстаивания, но в отдельных случаях возможна фильтрация без предварительного отстаивания. К числу этих случаев относятся фильтрация воды из водохранилищ или озер, служащих естественными отстойниками, и фильтрация воды с процессами коагуляции, проходящими в самом фильтре.

Фильтрующим материалом является кварцевый песок, за исключением специальных случаев обработки воды, когда для фильтрации используются мраморная крошка, пермутиты, глауконитовый песок, активированный уголь, антрацитовая загрузка, древесные стружки и др.

Проходя через песок, т. е. через промежутки между его зернами, вода оставляет здесь тем меньшие частицы взвеси, чем меньше эти промежутки. Таким образом, степень осветления воды зависит от пористости фильтрующей среды или крупности песка.

Для удаления более крупной взвеси применяют крупный песок; в тех случаях, когда требуется удаление мельчайшей взвеси и бактерий, песок должен быть более мелким. Бактерии (величина — тысячные доли миллиметра) и коллоидные частицы (десяти тысячные и стотысячные доли миллиметра) могли бы свободно пройти через промежутки между зернами используемого в фильтрах песка, однако промежутки эти в одних случаях через некоторое время заполняются задержанной взвесью, органической мутью и бактериями (созревание фильтра), после чего задержка столь мельчайших частиц легко осуществляется; в других случаях даже при несколько более крупном песке взвесь, бактерии и пр. задерживаются в промежутках между зернами благодаря тому, что предварительно были собраны в более крупные частицы (коагуляция).

И в том и в другом случаях вначале задерживаются более крупные частицы, а затем более мелкие. Таким образом, промежутки между зернами песка с частицами муты становятся все меньше и через некоторый промежуток времени, различный для фильтрации в одном и другом случаях (медленная и скорая фильтрация, с отстаиванием и без такового и т. д.), сопротивление и потеря напора в фильтре сильно увеличатся и фильтрация прекратится.

Основная работа по освобождению воды от мельчайшей взвеси и бактерий выполняется небольшим слоем песка, расположенным у поверхности, особенно при фильтрации с предварительным отстаиванием; большая часть работы выполняется вообще верхним слоем песка и значительно меньшая — остальной его толщей. При коагуляции, идущей в самом фильтре (при отсутствии отстаивания), вся толща песка используется более равномерно. Песок имеет зерна разной крупности, маленькие песчинки размещаются среди больших и объем промежутков между зернами вследствие этого уменьшается.

Способность песка пропускать воду и скорость фильтрации (высота столба воды, проходящей через фильтр в единицу времени) определяются размерами зерен песка меньших, чем средние зерна; согласно опытам Газена пропускная способность песка может определяться названным им «эффективным» размером песка, так называется калибр сита, через которое проходит 10% данного песка.

Формула, предложенная Газеном, $d = \varphi(v)$, позволяет усвоить сущность действия различных фильтров и классифицировать их по принципу действия. В этой формуле d — диаметр наименьших частиц, которые могут быть задержаны данной фильтрующей средой; e — эффективный размер песка и v — скорость фильтрации.

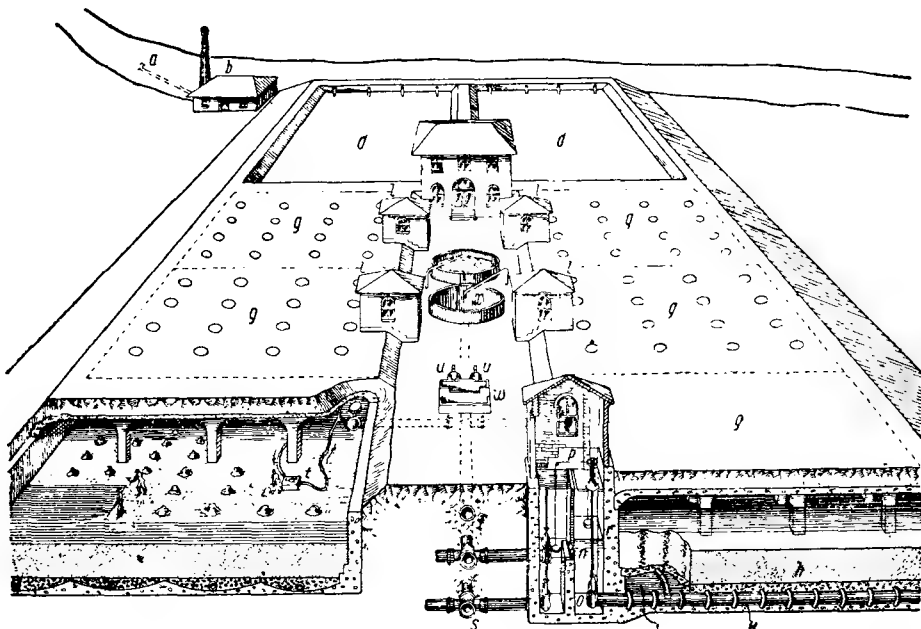
Действительно, чем d больше, тем больше может быть e и v , иначе задержка крупной взвеси может быть осуществлена более крупной фильтрующей средой при больших скоростях фильтрации и, наоборот, задержка мелкой взвеси требует более мелкой фильтрующей среды и меньших скоростей фильтрации. Мелкий песок, представляя большие сопротивления, может быть использован для фильтрации только при резком уменьшении скорости фильтрации.

Таким образом, возможны медленная, или естественная, фильтрация мелкой (естественной) взвеси и скорая фильтрация крупной взвеси (укрупненной благодаря коагуляции).

§ 19. Медленные (английские) фильтры

Медленные фильтры на жел.-дор. транспорте применения иметь не могут, однако краткие сведения о них необходимы. Общий вид сооружения с медленными фильтрами дан на фиг. 319. Вода осветляется, проходя через песок со скоростью, равной 0,1—0,2 м/ч. Песок здесь загружен в огромный резервуар (в зависимости от климата могут быть и открытые бассейны), выполненный из кирпича, камня или бетона; у основания резервуара расположен дренаж, назначение которого собирать прошедшую через песок профильтрованную воду. Обычно это канал, уложенный ниже дна резервуара с ответвляющимися меньшими каналами.

Дренажные каналы делаются из специального кирпича, специальных дырчатых черепичных, бетонных плиток, дырчатых гончарных труб; они обсыпаны крупным щебнем или гравием, на который укладываются более мелкий щебень, гравий и далее песок.



Фиг. 319. Английские фильтры

а—водоприемные сооружения; б—насосная станция 1-го подъема; д—отстойники; г—фильтры; h—песок; i—гравий; f—дренажные трубы; k—коллектор; l—вход в камеры отдельных секций фильтра; n—камера; o—задвижка; p—сигнализация; s—к резервуару чистой воды; t—эжектор для подачи песка при промывке; u, w, x—устройства для промывки грязного песка и выпуска грязной воды в водосток

Таким образом, загрузка фильтра помимо песка состоит из нескольких слоев щебня или гравия общей высотой 250—500 мм с постепенно уменьшающейся крупностью. Каждый слой служит для поддержания вышележащего и подобран так, чтобы отдельные его составные части не проваливались в нижний; верхний слой служит для поддержания песка; толщина слоя последнего 1—1,25 м и эффективная величина 0,25—0,35 мм.

Медленные фильтры, построенные позже, имеют дренаж из железобетонных плит, уложенных на бетонные столбики так, что образуется двойное дно (фиг. 320).

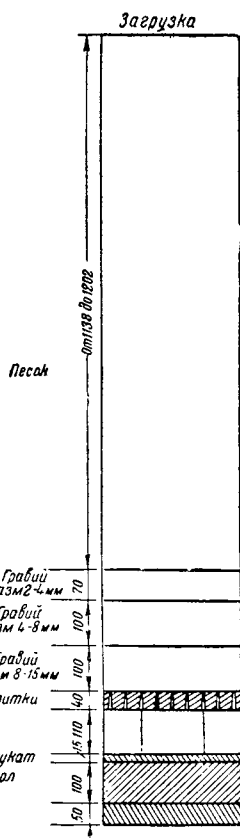
Скорость фильтрации в указанных выше пределах 0,1—0,2 м/ч устанавливается при помощи особых регуляторов. На фиг. 321 представлен английский фильтр производительностью 250—300 м³/ч с дренажем из дырчатых плиток. Основную роль в фильтрации воды здесь играют пленка на поверхности песка и верхний слой песка. «Созревание» пленки, называемой «биологической пленкой», так как в ней, а в некоторой степени и в толще песка имеют место биологические процессы, идет в течение 1—2 суток, и в это время вода, проходящая через фильтр, спускается в канализацию. После созревания пленки фильтр дает хороший эффект как в смысле задержки мельчайших частиц взвеси, так и в смысле задержки бактерий. В процессе работы фильтра пленка становится более плотной, песок загрязняется, потеря напора возрастает, и через некоторый промежуток времени, в среднем 1—2 месяца (весной чаще, зимой много реже), верхний грязный слой песка толщиной около 100 мм приходится удалять. Увеличение скорости фильтрации вызывает необходимость более частой очистки фильтра.

Операция по очистке фильтра требует от 1 до 2 дней (в зависимости от площади фильтра и условий самой очистки); в это время должен работать резервный фильтр. Очистка фильтров производится или вручную или с применением механизации.

Основное преимущество медленных фильтров — лучший и более устойчивый бактериальный эффект их работы — в настоящее время при широком и повсеместном внедрении процессов хлорирования уже не имеет того значения, какое он имел 25—30 лет назад.

Огромным недостатком этих фильтров являются потребная большая площадь фильтрации, превышающая таковую при скорых фильтрах в 40—50 раз, и большая первоначальная стоимость их.

Условия очистки фильтров требуют устройства резервных фильтров, а самая очистка часто неприемлема с гигиенической точки зрения. Все это привело к тому, что медленные фильтры более не проектируются, эксплуатация их имеет место лишь в нескольких городах СССР.



Фиг. 320

§ 20. Скорые (американские) фильтры

Рассматривая установки скорых фильтров, трудно отделить от последних прочие элементы станции обработки воды, к каковым относятся: смесители, камеры образования хлопьев, устройства для приготовления растворов химических реагентов и дозирования их, устройства для подвода промывной воды и отвода грязной воды, приборы, оборудование фильтров трубами и каналами, требующими специальных галлерей, и т. д. Кроме того, современные станции фильтрации воды для питьевых нужд требуют размещения здесь же хлораторов, устройств для дехлорирования или иной дополнительной обработки воды и т. п.

Все это часто размещается в одном здании, хотя на больших сооружениях приготовление растворов реагентов, смесители и камеры образования хлопьев нередко выносятся из здания фильтров.

Скорые фильтры дают удовлетворительный эффект очистки при значительно меньшей площади песка, чем у медленных. Скорость фильтрации достигает здесь 6 м/ч, а в отдельных случаях и более. Фильтрующий слой скорых фильтров принципиально мало отличается от описанного в медленных фильтрах, но самая конструкция скорого фильтра резко отличается от конструкции медленного фильтра.

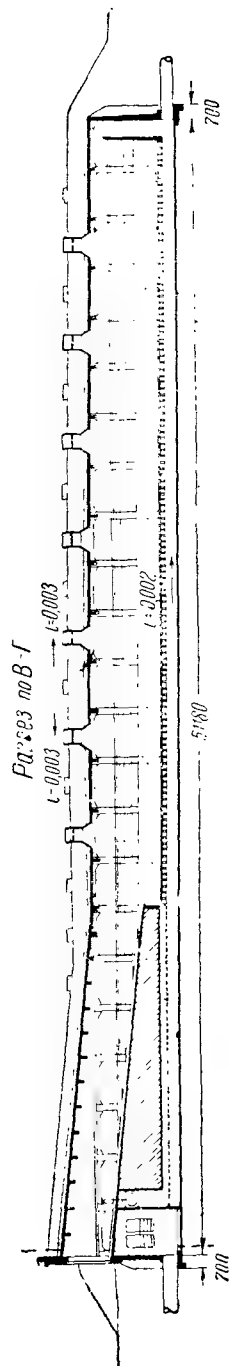
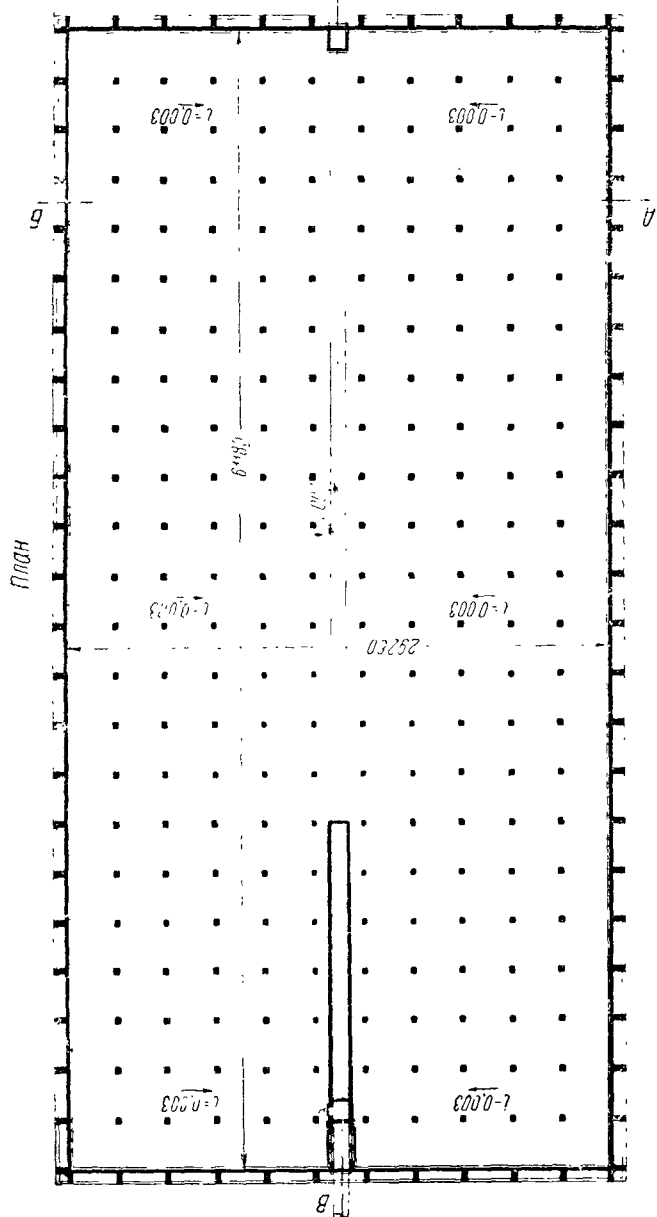
Основные отличия скорого фильтра — это большая скорость фильтрации и способ промывки песка.

На фильтр поступает вода, предварительно коагулированная и чаще всего освобожденная от наиболее крупной взвеси. Собственно фильтры занимают небольшую площадь, а устройства для коагуляции вместе с соответствующими устройствами для приготовления растворов реагентов, смешивания их и т. д. являются значительной частью всей установки; промывка песка, загрязняющегося в 40—50 раз быстрее, чем это имеет место у медленных фильтров, требует специальных конструкций дренажа устройств для подвода промывной воды и устройств для отведения с фильтра грязной воды. Промывка песка скорых фильтров должна быть технически более совершенной, чем это имеет место у медленных фильтров, и выполняться в короткий промежуток времени. Промывка эта производится обратным током воды, подаваемой в дренаж с определенным давлением и скоростями. В некоторых конструкциях фильтров при промывке используется еще сжатый воздух или механические грабли для перемешивания песка и его разрыхления и для освобождения отдельных зерен песка от приставших к ним загрязнений.

Основное отличие скорых фильтров между собой состоит главным образом в различном конструктивном оформлении деталей фильтра, связанных с промывкой, ранее запатентованных (США) и изготовлявшихся на заводах, почему скорые фильтры назывались механическими (фильтр Джуэлль).

В настоящее время фильтры в основном выполняются из железобетона с уста-

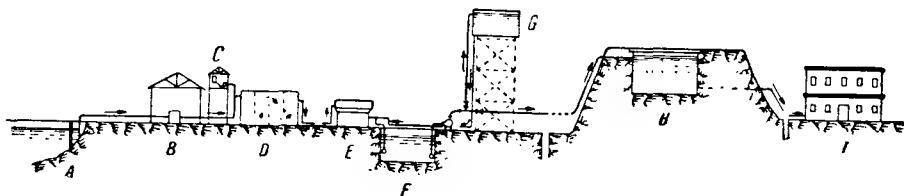
Паэзье 1-5



Фиг. 321

новкой специальных элементов оборудования для обеспечения лучшей промывки и более правильной эксплуатации.

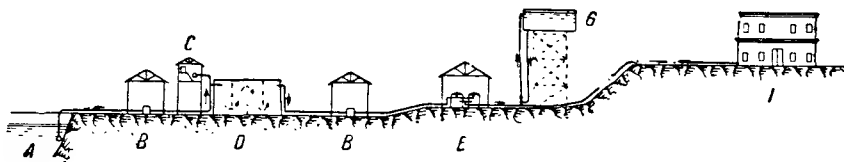
Эффект работы станции обработки воды, оборудованной современными фильтрами, весьма высокий. Процент задержки бактерий доходит до 98,5 — 99 (по отношению к количеству бактерий в сырой воде); взвесь удаляется вполне удовлетворительно, так как фильтрация здесь сочетается с коагуляцией; в значительной мере устраняется и цветность воды (торфяные воды и пр.).



Фиг. 322. Схема расположения сооружений с открытыми фильтрами
А—водозабор; В—насосная станция; С—приготовление реагентов; D—отстойник; Е—фильтры; F—резервуар чистой воды; G—башня; H—подземный резервуар; I—потребители

Фильтры являются только частью всей установки, часто самой дорогой. Для получения высокого эффекта обработки фильтры должны находиться в правильном соотношении с прочими элементами (смесители, камеры образования хлопьев, отстойники и пр.).

Для достижения хороших результатов необходимы тщательная эксплуатация, точная дозировка коагулянта, особенно при слабощелочных водах, контроль за периодом действия фильтров, контроль за процессом промывки и состоянием песка, регулярный химический и бактериологический контроль и т. д.



Фиг. 323. Схема расположения сооружений с напорными фильтрами
А—водозабор; В—насосные станции; С—приготовление реагентов; D—отстойник; Е—напорные фильтры; G—башня; I—потребители

Конструкции фильтров различаются в зависимости от характера движения воды и характера промывки их. На фиг. 322 представлена схема расположения сооружений с обычными открытыми фильтрами, в которых вода движется самотеком под влиянием разности отметок над фильтром и в резервуаре чистой воды. В современных крупных станциях обработки питьевой воды фильтры из железобетона достигают 120 м² и более; они вполне доступны для контроля. На станциях обработки воды в системах жел.-дор. водоснабжения наибольшая площадь одного фильтра не превышает 20 — 25 м². В схеме обязательны резервуар чистой воды и станция второго подъема (за редким исключением, когда вода из резервуара в сеть идет самотеком). Решение высотной схемы часто приводит к необходимости располагать фильтры на высоте 3 — 4 м от поверхности земли.

На фиг. 323 представлена схема расположения сооружений с напорными фильтрами, в которых вода движется под давлением, развиваемым насосами; это — закрытые фильтры, выполненные из стали; диаметр обычно доходит до 3 м. Схема фиг. 323 приведена для случая предварительной обработки воды перед поступлением ее на напорные фильтры. Вообще схема может быть и иной. При умягчении воды цеолитами такие фильтры почти обязательны в схеме, так как в этом случае открытые фильтры потребовались бы большой высоты. Основным недостатком напорных фильтров является затруднительность непос-

редственного наблюдения за состоянием песка. Применение напорных фильтров для осветления воды при очень больших расходах не может иметь места. В практике водоснабжения на жел.-дор. транспорте напорные фильтры могут найти значительное применение.

Х а р а к т е р промывки фильтра влияет на его конструкцию. В этом смысле фильтры можно разделить на:

- 1) фильтры с мешалками, промываемые водой;
- 2) фильтры без мешалок, промываемые водой и сжатым воздухом;
- 3) фильтры без мешалок, промываемые только водой.

В первом случае при промывке фильтра воде принадлежит значительная роль — частичное разрыхление песка и отмывка его от грязевых отложений; в последнем — исключительная, так как разрыхление слоя песка и отмывка его зерен от грязевых отложений полностью осуществляются водой. Естественно, что скорость движения воды и интенсивность промывки в последнем случае (при отсутствии мешалок) принимаются большими. В этом смысле фильтры в зависимости от условий промывки делятся еще на:

1) фильтры с малой интенсивностью промывки (сюда относятся фильтры с мешалками);

2) фильтры с большой интенсивностью промывки (безмешалочные фильтры).

Фильтры, промываемые водой с использованием сжатого воздуха, усложняют конструкцию и эксплуатацию и в СССР не проектируются.

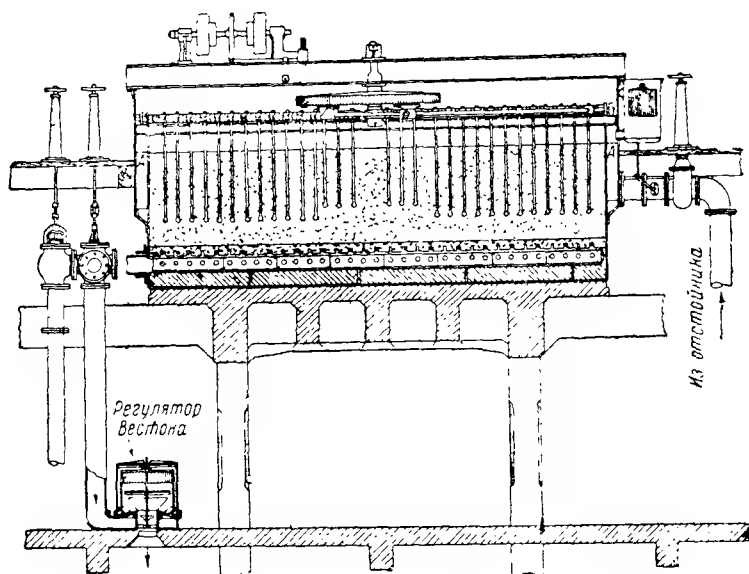
И н т е н с и в н о с т ь ю промывки называют количество воды, расходуемой на промывку фильтра, выражаемое в литрах на 1 м^2 площади фильтра в 1 сек. Фильтры с мешалками относятся к фильтрам с малой интенсивностью промывки в пределах $5 - 6 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$; фильтры безмешалочные — к фильтрам с

большой интенсивностью промывки в пределах $10 - 15 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$. Естественно, что характер и интенсивность промывки коренным образом влияют на конструкцию фильтра.

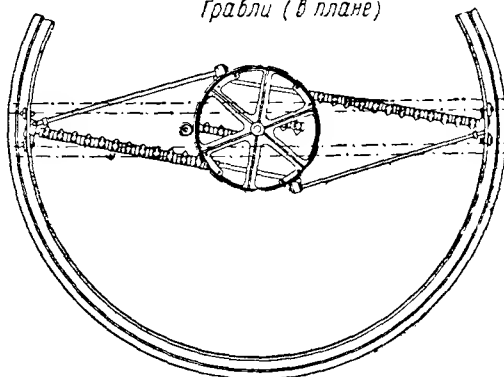
Ф и л ь т р ы с м е ш а л к а м и. Фильтр Джуэлль (фиг. 324) представляет собой круглый металлический или железобетонный резервуар (дерево применяется редко) диаметром до 5—6 м и высотой до 3—3,5 м, загруженный слоем песка, поддерживаемого небольшим слоем гравия. Последний расположен непосредственно на дренажной системе, состоящей из центрального коллектора с ответвлениями из горизонтально расположенных труб диаметром 30—38 мм (фиг. 325). Трубы дренажной системы имеют отверстия, в которых на резьбе поставлены сосунки — бронзовые коробочки с боковыми стенками из сетки (фиг. 326). Все пространство в нижней части фильтра под сосунками забетонировано. Напуск воды из отстойника производится в круговой жолоб-карман, откуда она переливается на фильтр. Профильтрованная вода собирается дренажной системой, коллектором и далее отводится через регулятор в резервуар чистой воды.

Промывка фильтра обычно производится насосом, подающим воду из резервуара чистой воды в коллектор и в дренажную систему, назначение которой не только собирать профильтрованную воду, но и равномерно распределять промывную воду по всей площади фильтра. Интенсивность промывки $5 - 6 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$.

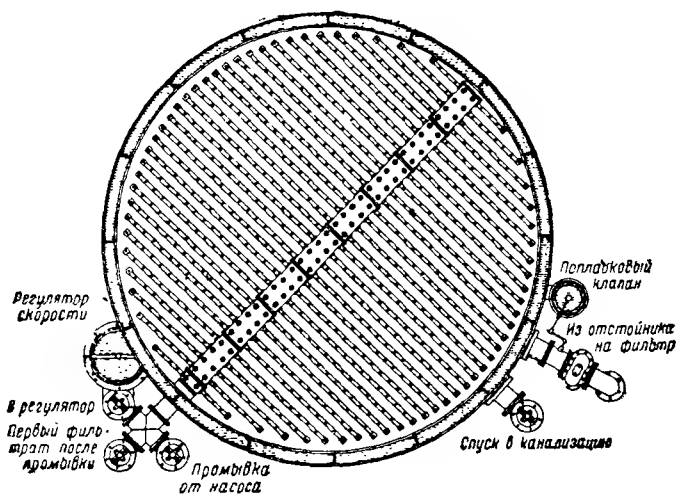
Грабли во время промывки приводятся в действие двигателем (или от трансмиссии), вращаются со скоростью 10—12 об/мин. и благодаря небольшому расстоянию между зубцами (около 20 см) бороздят, перемешивают и перетирают песок. Промывка длится 8—10 мин. Грязная вода после промывки песка поступает в круговой карман и далее отводится в канализацию. Расход промывной воды составляет 4—8% от количества профильтрованной. Перед промывкой все задвижки закрываются, открыты только задвижки на промывной линии (от насоса) и на спускной в канализацию. Во время работы фильтра открыты задвижки на трубопроводе из отстойника и к регулятору. Кроме регулятора ско-



Грабли (в плане)



Фиг. 324



Фиг. 325

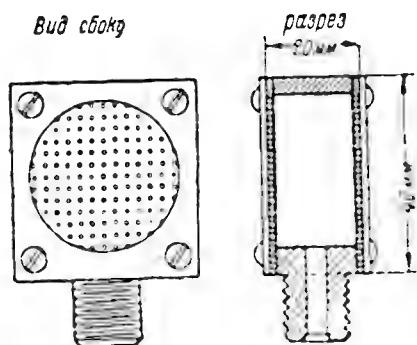
рости фильтрации фильтр снабжен поплавковым дроссельным клапаном для поддержания постоянного уровня воды.

Существует еще ряд аналогичных фильтров (Говатсон, Шретер и др.); больших принципиальных отличий в конструкции их нет; отличаются они главным образом в деталях дренажа.

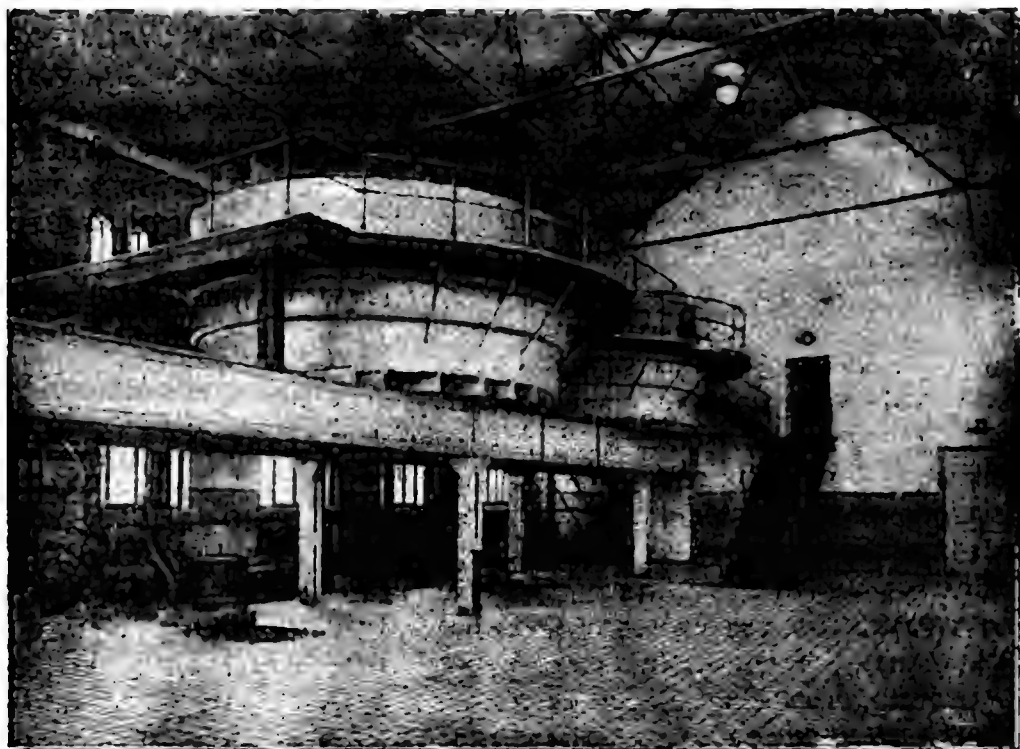
На фиг. 327 дан общий вид станции обработки воды с установленными на ней фильтрами с мешалками; на фиг. 328а, 328б показана станция обработки воды с такими же фильтрами общей производительностью 10 000 — 12 000 м³ воды в сутки. Площадь станции обработки воды используется далеко не полностью, потеря площади выражается в 20 — 25%.

Способ подвода воды и отведения грязной воды после промывки не позволяет увеличивать диаметр фильтра более 5 — 6 м; с увеличением последнего путь, который должны пройти грязевые отложения вместе с промывной водой, значителен, и часть грязевых отложений оседает, не дойдя до переливного жолоба.

Для большого расхода число фильтров поэтому получается значительным. Большое количество фильтров требует такого же количества комплектов оборудова-



Фиг. 326

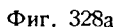


Фиг. 327

ния, усложняет эксплуатацию, а это вместе с недостаточно удовлетворительным использованием площади здания привело к тому, что фильтры с мешалками уступили свое место безмешалочным фильтрам.

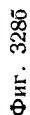
Следует заметить, что фильтры с мешалками дают удовлетворительный эф-

Безмешалочные фильтры. Современные фильтры для станций обработки воды средней и большой производительности выполняются из железобетона и имеют прямоугольную форму; механическое перемешивание песка во время промывки здесь не применяется; фильтр промывается водой; интенсивность промывки в пределах $10 - 15 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$. Период



На фиг. 329 представлены безмешалочные фильтры, расположенные весьма компактно.

Прямоугольные фильтры, разделенные рядом общих стенок с галереей трубопроводов, идущей вдоль фильтров, дают хорошее использование площади, упрощают устройство и обслуживание; наружные стены фильтров часто являются основанием для стен здания станции обработки воды. Для малых станций на жел.-дор. транспорте могут быть запроектированы фильтры без мешалок, круглые в плане (ниже о них сказано подробнее).



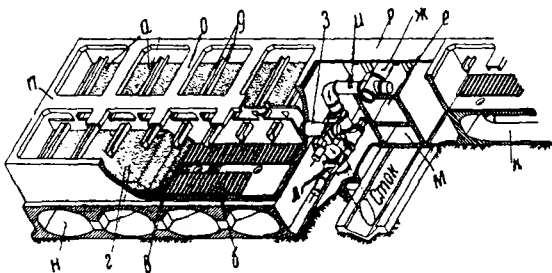
ных фильтров в плане осуществляется так, как указано на фиг. 330, в зависимости от размеров станции. Галлерей должна иметь размеры, позволяющие свободно разместить в ней трубы, каналы, задвижки, приборы, регуляторы скорости фильтрации.

Отметка подошвы фильтров по отношению к поверхности земли зависит от решения высотной схемы.

В отличие от вышеуказанного в некоторых случаях при плотном грунте и соответствующих профиле площадки и компоновке фильтры согласно принятой высотной схеме несколько углубляются в грунт, что может позволить уменьшить толщину стен, рассчитываемых с учетом давления воды. В зависимости от размеров станции обработки воды и местных условий здание фильтров выполняется кирпичным, железобетонным и редко деревянным (на севере).

Важнейшие детали конструкции фильтров следующие:

- а) корпус фильтра;
- б) дренаж;
- в) загрузочные (поддерживающие) слои;
- г) песок;
- д) желоба, подводящие воду на фильтр и отводящие грязную воду с фильтра;
- е) регуляторы скорости фильтрации;
- ж) трубы, каналы и задвижки;
- з) приборы управления;
- и) устройства для подачи промывной воды.



Фиг. 329. Станция фильтрации, оборудованная безмешалочными фильтрами

а—фильтры; б—дренаж; в—гравий; г—песок; д—желоба; е—вода с отстойника; ж—вода с фильтра; з—вода на фильтр; и—промывная вода; к—резервуар чистой воды; л—гидравлическая задвижка; м—фильтрованная вода; н—резервуар чистой воды; о—проход над фильтрами; п—центральный проход; р—площадка

§ 21. Фильтр

Фильтры современных крупных и средних станций обработки воды выполняются почти исключительно из железобетона. Металлические фильтры, загруженные кварцевым песком, встречаются в небольших установках или в качестве вспомогательного оборудования для осветления воды при умягчении.

Число фильтров зависит от суточной производительности и размеров каждого фильтра. Железобетонные прямоугольные фильтры для средних станций обработки воды вообще не следует принимать площадью большей 60—80 м²; максимальная площадь фильтра не должна превышать 100—120 м². Железо-

Фи	лб	т	рб
Галлерей			

Фи	лб	т	рб
Галлерей			

Фиг. 330

бетонные прямоугольные безмешалочные фильтры площадью меньшей 15 м² можно принимать лишь после тщательного сравнения их с другими конструкциями (фильтры с мешалками или открытые и закрытые металлические), а фильтры площадью до 10 м² необходимо принимать круглыми в плане. Для водоснабжения на жел.-дор. транспорте (в соответствии с имеющимися суточными расходами) могут быть приняты железобетонные безмешалочные фильтры площадью до 25—30 м² или несколько более; металлические — площадью до 22,4 м² (наибольший стандартный фильтр Главэнергопрома).

Большое количество фильтров увеличивает стоимость промежуточных стен и оборудования, с другой стороны, большие фильтры усложняют выполнение дренажа, затрудняют промывку, в меньшей мере гарантируют ее равномерность и удовлетворительный отвод грязной воды и требуют больших размеров баков

и насосов для промывки, подводящих и отводящих лотков и труб и канализационных устройств.

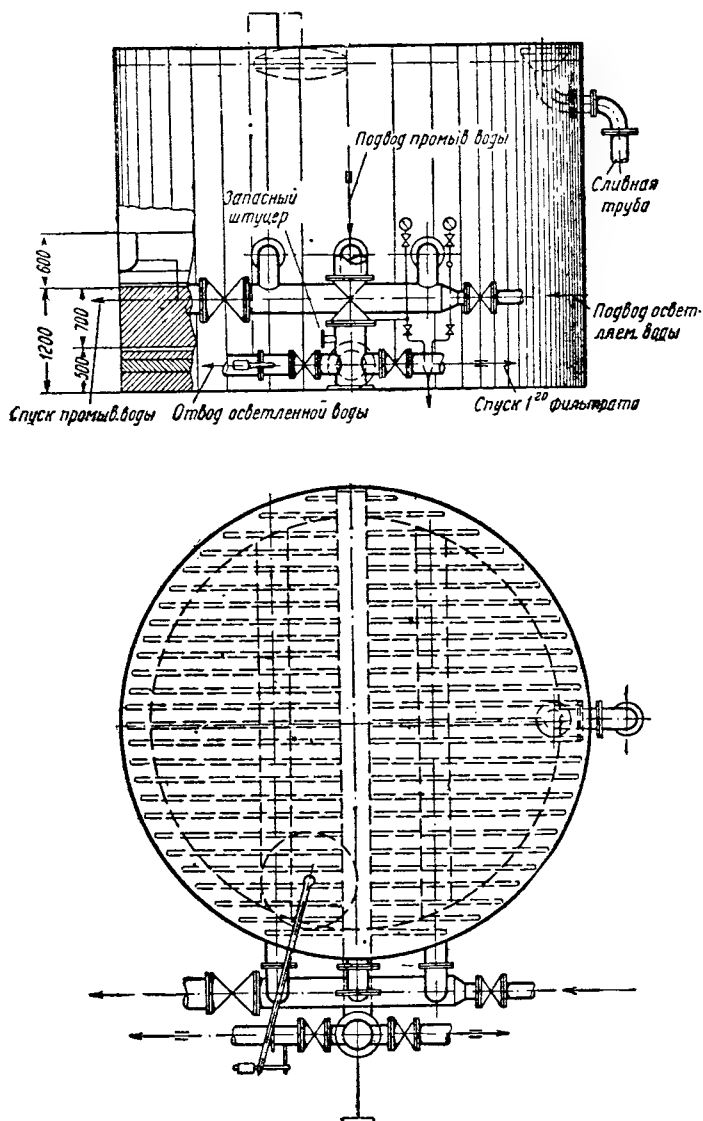
Имеется стремление стандартизировать фильтры; это в значительной мере упростит проектирование, постройку и монтаж их.

На фиг. 331 представлен открытый металлический фильтр (проект стандарт Главэнергопрома), описываемый далее подробнее, загруженный кварцевым песком для окончательного осветления воды, прошедшей через отстойники.

Особое место занимают напорные фильтры, которые также рассматриваются ниже.

§ 22. Дренаж

В работе скорого фильтра большое значение имеет дренаж, поддерживающий гравий и песок и служащий для: 1) сбора профильтрованной воды и 2) равномерного распределения в песке воды, подаваемой на промывку фильтра. Скорость движения воды через дренаж при промывке фильтра в 7—10 раз превышает такую при фильтрации; потери напора в дренаже и поддерживающих слоях фильтра в этом случае большие; движение воды по направлению снизу вверх должно быть равномерным по всей площади фильтра, что возможно лишь при хорошо распределенных достаточно многочисленных отверстиях дренажа с одинаковым давлением у этих отверстий в частицах воды, подаваемой для промывки фильтра. На протяжении многих лет были известны различные конструкции дренажа.



Фиг. 331

К простейшим конструкциям дренажа относились латунные просверленные листы или сетки из латунной проволоки с уложенной на них фильтрующей средой. Эти устройства забивались песком, не осуществляли равномерной промывки и с увеличением площади фильтров оказывались дорогими. Вслед за ними появились системы дренажа в виде большого количества труб, уложенных по дну фильтра, с винченными в них колпачками с отверстиями и непосредственной загрузкой на них песка, и в этом случае засорение

также имело место. Позже на дренаж стали укладывать гравий, а отверстия в колпачках или сосунках делать большими. Вместо употребления большого числа боковых труб применялось двойное дно с установкой сосунков (фильтры с мешалками).

На фиг. 332 показан дренаж с так называемыми гайками Говатсона, имеющими восьми- или шестигранную форму с отверстиями в каждой грани. Гайки эти заделываются в плиты, обычно железобетонные, размерами около 1×1 м; последние укладываются на специальные железобетонные столбики и служат для образования междудонного пространства.

Дренаж с сосунками и гайками Говатсона достаточно прост и требует небольшого слоя гравия. При осмотре фильтров после некоторого периода их действия иногда обнаруживалось, что некоторые сосунки или гайки не находились на месте (неправильная установка, негодная резьба, неаккуратная загрузка гравия и т. д.), а это, естественно, нарушало правильность промывки.

В дальнейшем для безмешалочных фильтров применялся дренаж, состоящий из просверленных латунных листов, идущих параллельными рядами вдоль фильтра. На дне фильтра устраивались бетонные призмы, образующие бетонные каналы с желобообразными углублениями, по которым вода отводилась к общей трубе, так что дно фильтра представляло собой целый ряд гребней, почему этот дренаж иногда называют гребенчатым.

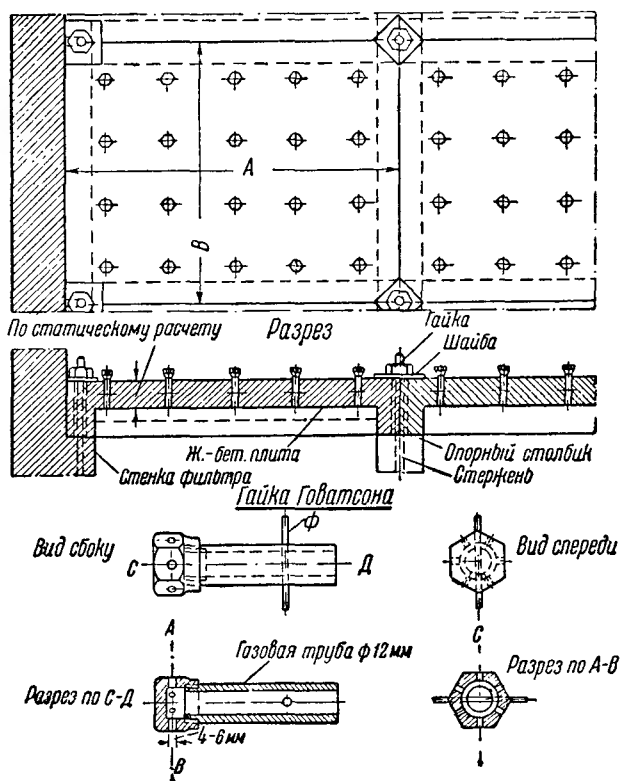
Для большинства строящихся в последнее время безмешалочных фильтров применяется дренаж из дырчатых труб, являющийся общепризнанным вследствие простоты устройства и достаточно удовлетворительных результатов промывки, получаемых при правильном его проектировании.

На фиг. 333 показана одна из выполненных конструкций дренажа, имеющего большое распространение. Дренаж состоит из центральной чугунной трубы (коллектора) и боковых чугунных дырчатых труб диаметром обычно от 50 до 100 мм, расположенных друг от друга на одинаковых расстояниях (150 — 300 мм); эти трубы имеют одинаковые отверстия в 6 — 12 мм, просверленные в нижней части трубы на равных расстояниях порядка 150 — 200 мм.

Система располагается у самого дна и покрыта гравием. Длина боковых труб не должна быть значительной, чтобы не влиять на величину давления в частях воды при промывке в наиболее удаленных местах фильтра, что весьма существенно в смысле достижения равномерности промывки.

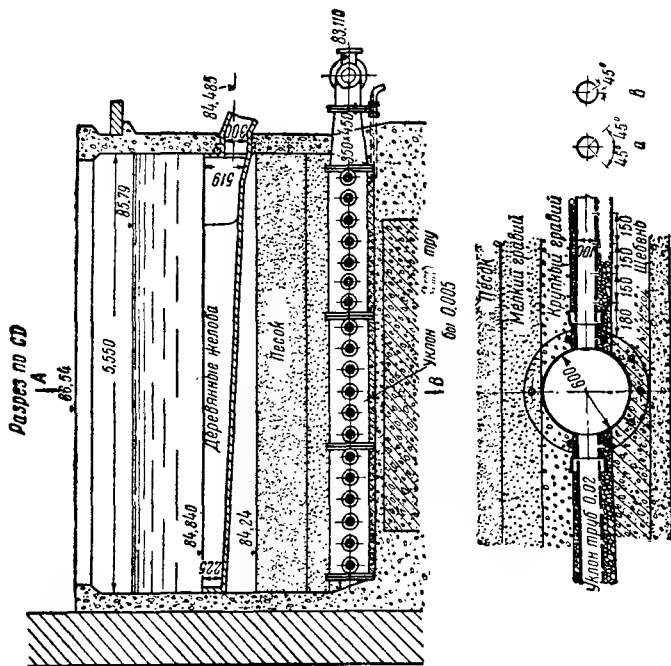
Коллектор (центральная труба) должен быть достаточных размеров, чтобы обеспечить одинаковое давление у боковых труб. Скорость движения воды в коллекторе (у начала) принимается равной 1,5 — 1,6 м/сек.

Иногда избегают ставить центральную трубу большого сечения для фильтра площадью 35 — 40 м² (диаметр центральной трубы в зависимости от интенсивности промывки может быть равен 600—700 мм), мотивируя это нежеланием

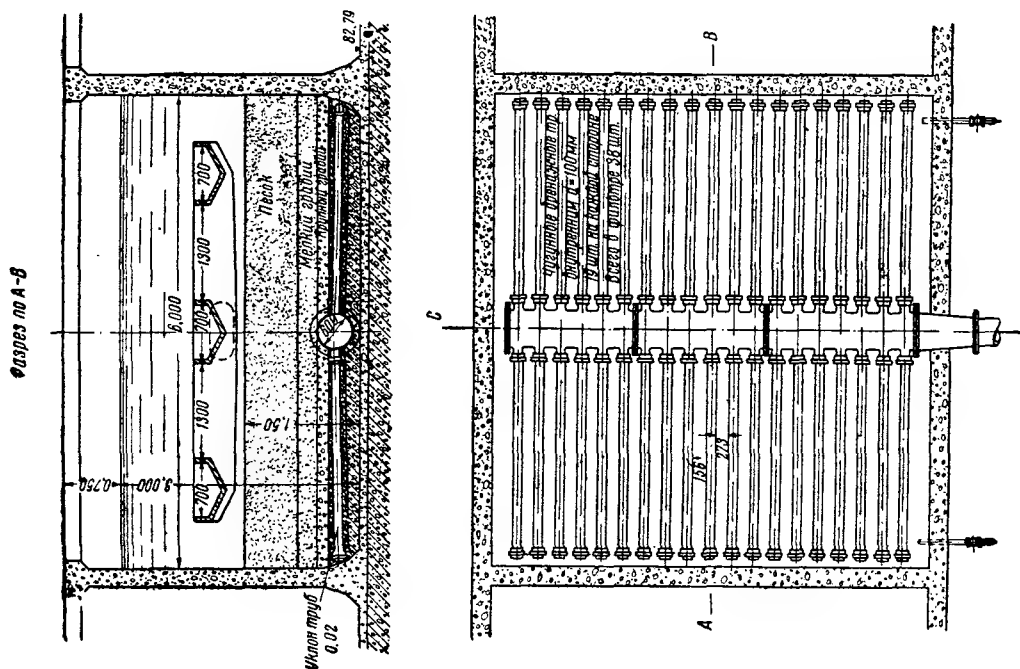


Фиг. 332

загромождать фильтр. Такое ошибочное решение приводит к неравномерной промывке. Для того чтобы избежать накопления воздуха в самом дренаже, боковые трубы прокладываются с небольшим уклоном от центральной трубы; последняя не имеет отверстий для воды, идущей на промывку песка, что заста-



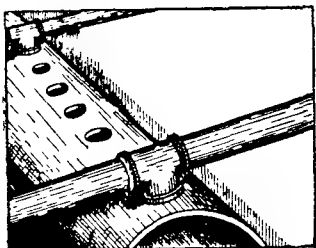
Фиг. 333



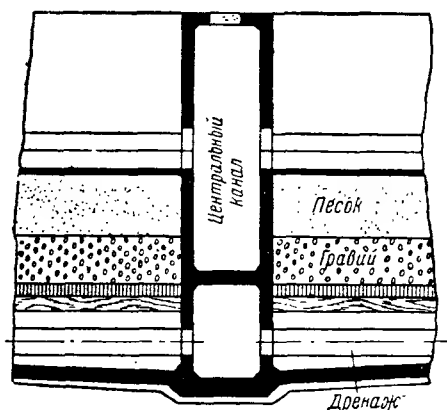
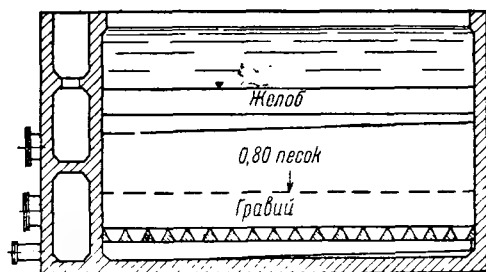
вляет опасаться образования над ней плохо промываемого пространства. Попытка улучшить промывку песка над центральной трубой прокладкой сверх нее и соединенных с ней дополнительных труб с отверстиями не дала удовлетворительных результатов, потому что из указанных дополнительных труб, зани-

мающих самое высокое положение в дренаже, во время промывки вырывается накапливающийся в дренаже воздух. Это часто способствует некоторому смещению гравия и образованию воронок в песке и подчеркивает целесообразность возможного заглубления центральной трубы в дно фильтра. Большой слой крупного гравия, находящийся в этом случае над трубой, способствует лучшему распределению промывной воды.

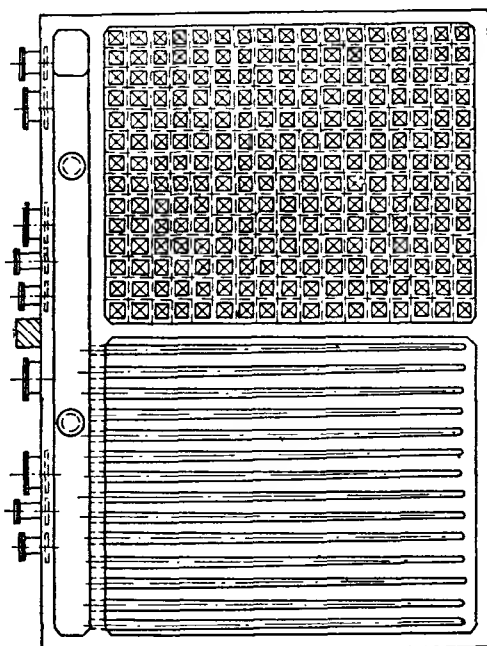
Правильной может быть признана конструкция, изображенная на фиг. 334. В верхней части центральной трубы делаются отверстия и устанавливаются тройники, от которых идут боковые ответвления. Центральная труба помещается в углублении дна, заполняемом после укладки трубы тощим цементным раствором, а ответвления лежат на дне филь-



Фиг. 334



Фиг. 335



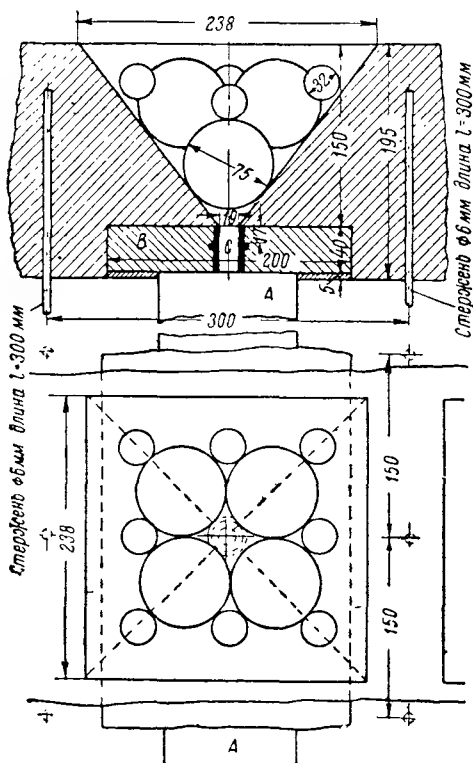
Фиг. 336

тра; при этом, естественно, непромытых мест над центральной трубой не будет.

Для фильтров площадью более 40 — 50 м² центральная труба может быть заменена бетонным каналом, от которого идут ответвления из чугунных труб. Над этим каналом может быть выполнен канал для воды, идущей с отстойника, и для грязной воды. Последний канал делит фильтр на две части; над каналом песка не имеется, и потому непромытых мест нет. На фиг. 335 показан фильтр с подобным каналом (с несколько иной конструкцией дренажа).

Шаровой дренаж (фиг. 336 и 337), предложенный Уилером (США), состоит из выполненных в дне фильтра бетонных перевернутых усеченных пирамид. Оси пирамид отстоят друг от друга на расстоянии около 300 мм, так что дно фильтра как бы разделено на

квадраты со стороной около 300 мм. Каждая зовой втулки диаметром 19 мм, соединяющим мещен шар из портланд-цемента диаметром 75 мм,



Фиг. 337

досок толщиной 25 мм, поставленных на ребро, опирающихся на балки. Расстояние между поставленными на ребро досками равно толщине доски. Таким образом, площадь отверстий равна 50% площади фильтров. Между досками на определенных расстояниях положены деревянные прокладки. Ниже дренажа оставляется так называемое междудонное пространство высотой до 0,8 м, играющее большую роль в том смысле, что здесь в образующейся «водяной подушке» гасится скорость воды, поступающей на промывку. Таким образом, под дренажем разности давления не должно быть. Слой гравия над дренажем не менее 600 мм; при малой толщине слоя гравий может быть смещен; большая толщина гарантирует более равномерную промывку. Потеря напора в описываемом дренаже вместе с загрузкой при

интенсивности $10 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$ менее 1 м. В пространстве между досками потери ничтожны. Рассматриваемый дренаж при имевшемся ранее дефиците в металле имел достаточное распространение.

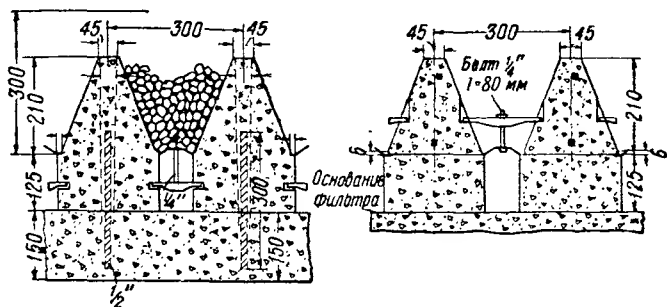
пирамида снабжена выходом в виде бронее с каналом. Над каждым выходом помещены шары. Над последними помещены восемь шариков диаметром около 31,5 мм и девятый в центре диаметром около 40 мм.

Над шариками расположен слой гравия толщиной около 450 мм, крупностью до 25 мм, т. е. толщиной значительно меньшей, чем в других конструкциях дренажей. Шаровой дренаж применен на нескольких водопроводах в СССР; конструкция его достаточно проста, смещение шаров не имеет места и результаты работы, т. е. качество промывки, удовлетворительны; широкого распространения он у нас не получил. К числу его недостатков следует отнести имеющее место разрушение шаров (в СССР применялись цементные шары; фарфоровые шары этим недостатком возможно не обладали бы).

На фиг. 337а показан тип «гребенчатого» дренажа.

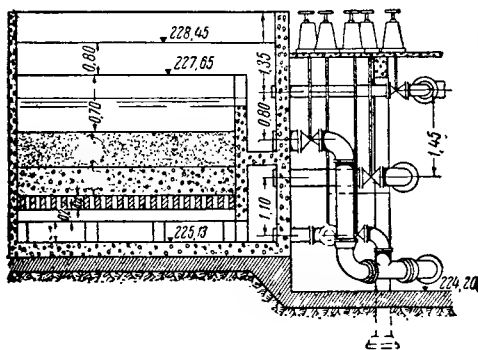
Все перечисленные дренажи оказывают большое сопротивление при прохождении в них воды, идущей на промывку фильтра, и потому называются дренажами большого сопротивления. В отличие от них устраивается дренаж, оказывающий малое сопротивление при прохождении воды, или так называемый дренаж малого сопротивления.

На фиг. 338 представлен такой дренаж в виде деревянной решетки для поддержания гравия, состоящей из

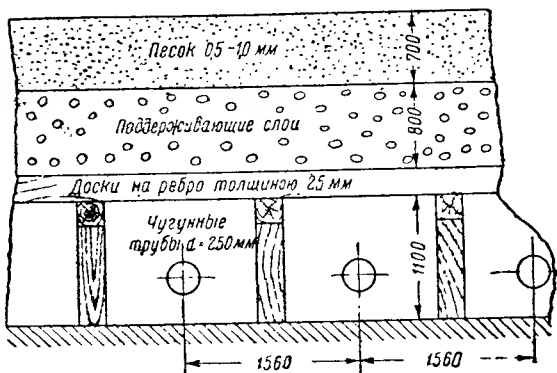


Фиг. 337а

В настоящее время соображения, связанные с дефицитностью металла, при конструировании дренажа не имеют уже значения, и описанный дренаж малого сопротивления не может быть широко рекомендован. Некоторое промежуточное место между дренажами большого и малого сопротивлений занимают конструкция, изображенная на фиг. 339, выполненная на московском водопроводе, и конструкция, изображенная на фиг. 340. Здесь имеет место сочетание прин-



Фиг. 338



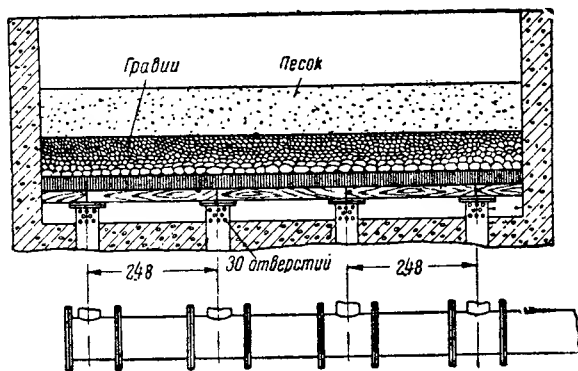
Фиг. 339

ципа работы дренажей большого и малого сопротивлений. Действительно, в одном и другом случаях дренаж состоит из дырчатых труб, подводящих воду в междудонное пространство. Дренаж согласно фиг. 340 представляет коллектор, уложенный под фильтром (необходим специальный подвал), с рядом ответвлений и стояков на них с отверстиями диаметром 50 мм. Над стояками имеются решетки из досок, поставленных на ребро, и достаточно большой слой гравия.

В этой системе та или иная возможность недостаточно равномерной подачи воды, осуществляемой дренажем, компенсируется возможностью перемещения частиц воды по выходе из отверстий в горизонтальном направлении. Такой дренаж получил в СССР некоторое распространение. Следует иметь в виду, что все конструкции дренажа с деревянной решеткой требуют большого слоя гравия.

Основания к расчету дренажа. Расчет дренажа, состоящего из центральной трубы и боковых дырчатых труб, основан на опытных данных, позволяющих приблизительно определить потерю напора в отверстиях дренажа, а также дающих ряд соотношений, используемых в этом расчете.

Опытами проф. Н. Г. Малишевского установлено, что при движении воды в дырчатых трубах вследствие уменьшения скорости движения воды, вызванного все уменьшающимся расходом по длине, имеется аналогия с движением в конической постепенно расширяющейся трубе, в которой при уменьшении скорости повышается давление.

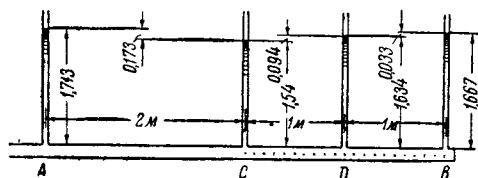


Фиг. 340

В дырчатой трубе имеют место уменьшение скорости движения и восстановление скоростного напора $\frac{v^2}{2g}$; потери на трение незначительны.

На фиг. 341 приведены данные опытов; АВ — труба диаметром 50 мм; между С и В расположено 40 отверстий диаметром 5,5 мм; конец трубы у В закрыт; расход равен 3,333 л/сек. Показания пьезометров в точках А, С, D, В подтвердили увеличение напора к концу дырчатой трубы, близкое к скоростному напору, «освободившемуся от уменьшения скорости между С и В». Означенные опыты привели к тому, что основанием для расчета дренажных (дырчатых) труб стали принимать не потерю напора на трение, а восстановление скоростного напора, имеющее место в дренаже к концу центральной трубы и далее к концу ответвлений.

Наибольшую разность напоров в дренажной сети точно определить затруднительно, так как степень восстановления скоростного напора, или величина, на которую он восстановлен, описанными опытами не уточнена (проф. Н. Г. Малишевский предлагает здесь учитывать разницу в 15%). Максимальная же разница напоров (теоретическая) у начала магистрали и в конце последнего ответвления равна:



Фиг. 341

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g},$$

где v_1 — скорость движения воды в начале магистрали;

v_2 — скорость движения воды в начале ответвления.

Действительно, если давление у входа в магистраль — h , то давление в конце магистрали приближается к $h + \frac{v_1^2}{2g}$ (на самом деле давление будет несколько меньше, так как скоростной напор восстанавливается неполностью). Наконец, в конце последнего ответвления на основе сказанного давление будет равно $h + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g}$ (по той же причине действительное давление будет несколько меньше).

Наибольшая возможная разность давлений в начале магистрали и в конце последнего ответвления равна:

$$h + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g} - h = \frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g}.$$

Так как максимально возможная разность давлений дает наибольшую неравномерность промывки, то она и принята при дальнейшем расчете.

Если количество воды, вытекающее в первом отверстии первого ответвления, обозначить через q_c , имеющийся здесь напор, расходуемый на преодоление сопротивлений в отверстии, — через h , количество воды, вытекающее в последнем отверстии последнего ответвления, через q_B и величину отверстий через ω , то

$$\frac{q_c}{q_B} = \frac{\mu \omega \sqrt{2gh}}{\mu \omega \sqrt{2g \left(h + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g} \right)}},$$

или

$$\frac{q_c}{q_B} = \frac{\sqrt{h}}{\sqrt{h + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g}}}.$$

Отношение между q_c и q_b , определяемое с некоторым приближением из написанного уравнения, можно регулировать в определенных пределах, изменяя, как это далее показано, площадь всех отверстий в боковых ответвлениях или напор, теряемый в отверстиях.

Предполагая, что разность между наименьшим и наибольшим расходами в отверстиях в 4—5% даст еще относительно равномерную промывку, т. е. допуская, что

$$\frac{q_c}{q_b} = 1 - 0,04 = 0,96$$

или

$$0,96^2 = \frac{h}{h + \frac{v_1^2 + v_2^2}{2g}},$$

получим:

$$h = 0,92 h + 0,92 \frac{v_1^2 + v_2^2}{2g};$$

$$0,08 h = 0,92 \frac{v_1^2 + v_2^2}{2g},$$

или

$$h = 11,5 \frac{v_1^2 + v_2^2}{2g}.$$

Под h мы понимаем напор, имеющийся в частицах воды у определенных отверстий, расходуемый на преодоление сопротивлений в этих отверстиях; так как при этом предполагалось, что истечение из отверстий происходит в атмосферу, то выведенная зависимость не является точной; это подчеркивается еще следующими обстоятельствами.

1. Необходима некоторая часть напора для преодоления сопротивлений, особенно в песке; последний при промывке с большой интенсивностью находится в приподнятом, как бы взвешенном состоянии, однако, сопротивления в нем имеются. Согласно опытам Эльмса при толщине слоя гравия 457 мм, толщине слоя песка 760 мм (эффективная величина 0,3—0,4 мм, коэффициент однородности 1,45) и интенсивности промывки $10 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$ потери напора в гравии оказались равными 0,097 м и в песке — 0,712 м. Возможная разница сопротивлений в песке над рассматриваемыми отверстиями при разрыхленном и приподнятом песке, повидимому, незначительна.

2. Не учтены потери на образование скорости при входе в ответвления и на сжатие здесь струи, а это приводит к тому, что в расчете мы основываемся на большей разности давлений в рассматриваемых точках C и B или на большей неравномерности движения в них воды, чем это может иметь место в действительности.

Выведенная зависимость, не будучи достаточно точной на данном этапе развития вопроса большой сложности, принимается в качестве основания для расчета дренажа.

Обозначим:

площадь фильтра — $F \text{ м}^2$;

размеры фильтра в плане — a и $b \text{ м}$;

интенсивность промывки $W \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$;

общее число отверстий во всем дренаже — n ;

общую площадь всех отверстий дренажа — $f \text{ м}^2$;

расстояние между ответвлениями — $s_0 \text{ м}$;

диаметр отверстия — $d \text{ мм}$;

площадь отверстия — $\phi \text{ мм}^2$;

расстояние между отверстиями — s_1 м;
число отверстий, приходящихся на ответвление, — n_0 ;
имеем расход через отверстие:

$$q_B = \frac{\mu\omega}{1000^2} \sqrt{2g \cdot 11,5 \frac{v_1^2 + v_2^2}{2g}} \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Умножая левую и правую части равенства на n , получим:

$$nq_B = \frac{\mu\omega n}{1000^2} \sqrt{11,5 (v_1^2 + v_2^2)}.$$

Здесь nq_B — расход через все отверстия, равный

$$FW \text{ л/сек} = \frac{FW}{1000} \text{ м}^3/\text{сек},$$

а

$$\frac{\omega n}{1000^2} = f.$$

Подставляя эти значения в полученное уравнение, получим:

$$\frac{FW}{1000} = \mu f \sqrt{11,5 (v_1^2 + v_2^2)},$$

или

$$\frac{f}{F} = \frac{W}{1000\mu} \cdot \frac{1}{\sqrt{11,5 (v_1^2 + v_2^2)}}.$$

Отношение $\frac{f}{F}$, т. е. отношение общей площади отверстий дренажной системы к площади фильтра, согласно данным практики (Дженкс, Эльмс в США) рекомендуется в пределах 0,002 и 0,2%.

Обозначая $\frac{f}{F}$, выраженное в процентах, через k и приняв $\mu = 0,62$, получим:

$$k = \frac{W \cdot 100}{1000 \cdot 0,62} \cdot \frac{1}{\sqrt{11,5 (v_1^2 + v_2^2)}} = \frac{W}{21} \cdot \frac{1}{\sqrt{(v_1^2 + v_2^2)}} \text{ } \%$$

Рекомендуя k в малых пределах, сильно увеличивают напор, теряемый в отверстиях дренажа, принимаемых одинаковыми, уменьшают влияние разности напоров у отверстий, уменьшают относительное значение неравенства сопротивлений в песке фильтра или, приближая тем самым отношение $\frac{q_c}{q_B}$ к единице, обеспечивают более равномерную промывку.

Скорости v_1 и v_2 можно рекомендовать в пределах: v_1 до 1,6 м/сек, v_2 не выше 2,6 м/сек.

Восстановление напора имеет место и в центральной трубе и в ответвлении; при выборе диаметра той и другой трубы и скоростей в них следует считаться с тем, что если боковая труба имеет большую длину и здесь восстановленный напор может иметь большее значение, то восстановленный напор в центральной трубе должен быть меньше, т. е. скорость в ней должна быть выбрана меньшей.

Приняв диаметр и скорость в центральной трубе, задавшись расстоянием между боковыми трубами s_0 , принимаемым обычно в пределах 0,15 — 0,3 м, и установив диаметр боковой трубы и скорость в ней, определяют по выведенной выше формуле f в кв. метрах или k . Задав диаметр отверстия d мм, обычно принимаемым в пределах 6 — 12 мм, определяют n — общее число отверстий

во всем дренаже и далее n_0 — число отверстий, приходящихся на ответвление, затем определяют расстояние между отверстиями:

$$n = \frac{f \cdot 1000^2}{\omega} = \frac{kF \cdot 1000^2}{100\omega};$$

число отверстий, приходящихся на ответвление:

$$n_0 = n \cdot \frac{2b}{s_0} = \frac{kF \cdot s_0 \cdot 1000^2}{100\omega \cdot 2b};$$

расстояние между отверстиями:

$$s_1 = \frac{a}{2} : n_0;$$

$$s_1 = \frac{a \cdot 100\omega \cdot 2b}{2kFs_0 \cdot 1000^2} = \frac{\omega}{10000 ks_0} \text{ м.}$$

Когда в плоскостях сечения трубы располагается по одному отверстию, для определения s_1 остается выведенная формула; когда в плоскостях сечения трубы располагается по два отверстия (см. фиг. 333),

$$s_1 = \frac{2\omega}{10000 ks_0} = \frac{\omega}{5000 ks_0} \text{ м.}$$

Д а н н ы е о п ы т о в. Опыты, проведенные Дженксом, проверенные и дополненные Эльмсом, указывают на определенные границы в принимаемых размерах при проектировании дренажа из дырчатых труб, поэтому данные этих опытов следует рекомендовать для проверки величин, принимаемых и получаемых при расчете дренажа.

Правильно сконструированный дренаж на основании выводов из вышеуказанных опытов должен удовлетворять следующим условиям:

- 1) отношение длины боковой трубы к ее диаметру не должно превышать 60;
- 2) диаметр отверстий в боковых трубах должен быть от 6 до 12 мм;
- 3) промежутки между отверстиями в боковой трубе могут колебаться от 75 мм при диаметре отверстий в 6 мм до 200 мм при диаметре отверстий в 12 мм;
- 4) расстояния между боковыми трубами могут доходить до 300 мм;
- 5) отношение общей площади отверстий дренажной системы к общей площади поперечного сечения боковых труб не должно превышать 0,5 при диаметре отверстий в 12 мм и должно быть уменьшено до 0,25 при диаметре отверстий в 6 мм или (согласно позднейшим опытам Эльмса) сумма площадей поперечного сечения боковых труб должна быть по меньшей мере в 2 раза больше суммы площадей сечения отверстий в боковых трубах;

6) отношение общей площади отверстий дренажной системы к площади фильтра должно быть достаточно мало (около 0,002);

7) главные распределительные трубы, питающие боковые трубы, должны иметь сумму площадей поперечного сечения в 1,75 — 2 раза больше суммы площадей поперечного сечения боковых труб.

Последнее правило, по нашему мнению, требует дополнительной проверки для средних фильтров с одной главной распределительной трубой, наиболее часто проектируемых в наших условиях. Соблюдение этого правила требует меньших скоростей в центральной трубе и увеличения ее диаметра и больших скоростей в ответвлениях, поэтому впредь до накопления данных нашей практики некоторое отступление от этого правила можно считать вполне допустимым.

Пример 1. Требуется рассчитать дренаж из дырчатых труб для фильтра (фиг. 342) площадью $F = 16,6 \text{ м}^2$.

Размеры фильтра: $a = 4,6 \text{ м}$, $b = 3,6 \text{ м}$.

Интенсивность промывки $W = 12 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек.}}$

Расход воды на промывку равен $WF = 12 \cdot 16,6 \approx 200 \text{ л/сек.}$

Намечаем диаметр центральной трубы с тем, чтобы скорость у входа в трубу соответствовала указанным выше пределам.

Принимаем $D = 400 \text{ мм}$; $v_1 = 1,6 \text{ м/сек.}$

Расстояние между осями боковых труб принимаем равным $s_0 = 0,3 \text{ м}$. Число боковых труб с каждой стороны центральной трубы равно:

$$\frac{b}{s_0} = \frac{3,6}{0,3} = 12.$$

Расход воды в боковой трубе равен: $200 : (2 \times 12) = 8,33 \text{ л/сек.}$

Намечаем диаметр боковой трубы (ответвления) с тем, чтобы скорость у входа в трубу соответствовала указанным выше пределам. Принимаем диаметр ответвления $D_0 = 75 \text{ мм}$; $v_2 \approx 1,9 \text{ м/сек.}$ Отношение общей площади отверстий дренажной системы к площади фильтра:

$$k = \frac{W}{2l} \cdot \frac{1}{\sqrt{v_1^2 + v_2^2}} \% = \frac{12}{2l} \cdot \frac{1}{\sqrt{1,6^2 + 1,9^2}} \% \approx 0,23\%$$

Диаметр отверстия d принимаем равным 9 мм .

Расстояние между отверстиями

$$s_1 = \frac{\omega}{5000 k s_0} = \frac{\pi \cdot 9^2 \cdot 100 \cdot 10}{4 \cdot 5000 \cdot 0,23 \cdot 3} = 0,184 \text{ м} = 184 \text{ мм}.$$

Проверка расчета.

Отношение длины боковой трубы к ее диаметру равно:

$$2,3 : 0,075 \approx 31,$$

т. е. менее 60; следовательно, 1-е условие выполнено. Принятые диаметры отверстий в боковых трубах, расстояние между отверстиями, расстояние между боковыми трубами удовлетворяют условиям 2-му, 3-му и 4-му.

Сумма площадей поперечного сечения боковых труб равна:

$$\frac{2 \cdot 12 \pi \cdot 0,075^2}{4} \approx 0,106 \text{ м}^2.$$

Сумма площадей сечения отверстий в боковых трубах равна:

$$\frac{k}{100} F = \frac{0,23}{100} \cdot 16,6 \approx 0,038 \text{ м}^2.$$

Отношение суммы площадей поперечного сечения боковых труб к сумме площадей отверстий в них равно:

$$\frac{0,106}{0,038} \approx 2,8,$$

т. е. более 2; следовательно, условия 5-е и 6-е выполнены.

Площадь сечения центральной трубы равна:

$$\frac{\pi \cdot 0,4^2}{4} \approx 0,126 \text{ м}^2.$$

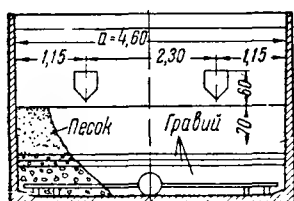
Сумма площадей поперечного сечения боковых труб равна $0,106 \text{ м}^2$;

$$\frac{0,126}{0,106} = 1,2,$$

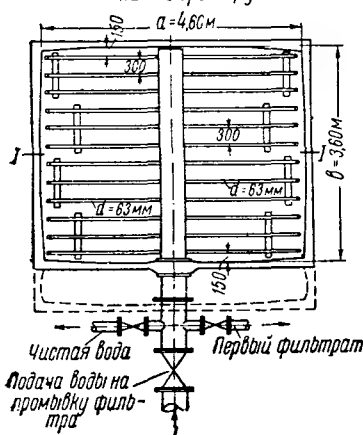
т. е. меньше 1,75; следовательно, последнее условие не выполнено.

Таким образом, или можно оставить запроектированный дренаж, рассчитывая на то, что большая неравномерность при получении указанного соотношения, равного 1,2 вместо 1,75, не будет иметь места, или необходимо пересчитать дренаж. В последнем случае можно или увеличить диаметр центральной трубы или уменьшить диаметр боковых ответвлений. Первое во избежание загромождения фильтра менее желательно за исключением случаев, когда ответвления присоединены в верхней части трубы, а сама труба заложена

Разрез фильтра по I-I



План дренажу



Фиг. 342

в бетонное основание; второе возможно, если скорость в ответвлениях не будет слишком большой, так как это даст большой восстановленный напор, также неблагоприятно отражающийся на равномерности промывки.

Намечаем диаметр ответвления $D_0 = 63$ мм, тогда $v_2 = 2,68$ м;

$$k = \frac{12}{21} \cdot \frac{1}{\sqrt{1,6^2 + 2,68^2}} \% = 0,183\%.$$

d намечаем равным 9 мм; тогда

$$s_1 = \frac{\omega}{5000 \cdot k s_0} = \frac{\pi \cdot 9^2 \cdot 1000 \cdot 10}{4 \cdot 5000 \cdot 0,183 \cdot 3} \approx 230 \text{ мм},$$

т. е. расстояние между отверстиями в боковой трубе оказалось большим рекомендуемого.

Примем d равным 8 мм; тогда $s_1 = 182$ мм.

Окончательная проверка показывает, что принятый дренаж удовлетворяет всем условиям (при проверке 7-го условия отношение площади сечения центральной трубы к сумме площадей сечения боковых труб оказалось равным около 1,7, что также приемлемо).

Пример 2. Требуется рассчитать дренаж с гайками Говатсона.

Площадь фильтра $F = 12,4$ м².

Интенсивность промывки $W = 12 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек.}}$

Расход воды на промывку равен $WF = 149$ л/сек.

Назначаем D трубы, подводящей воду в междудонное пространство, равным 300 мм; скорость движения воды при выходе из нее в междудонное пространство, равной 2,10 м/сек. Расчет практически проводится аналогично предыдущему с использованием тех же формул; однако по существу аналогия с приведенным выше расчетом здесь не обоснована. Боковых труб нет, поэтому v_2 может быть принята равной нулю. Скорости поступления воды в междудонное пространство v_1 придают то же значение, что и скорости поступления в центральную трубу, в то время как явления здесь разные и распределения скоростей не аналогичны. Считая необходимым указать на обязательность дальнейшего обоснования расчета, мы вынуждены все же его привести в существующем виде:

$$h = 11,5 \frac{v_1^2 + v_2^2}{2g} = 11,5 \frac{v_1^2}{2g} \approx 2,58 \text{ м.}$$

Отношение общей площади отверстий дренажа к площади фильтра:

$$k = \frac{W}{21} \cdot \frac{1}{\sqrt{v_1^2 + v_2^2}} = \frac{W}{21} \cdot \frac{1}{\sqrt{2,1^2}} = 0,27\%.$$

Площадь отверстий дренажа, приходящаяся на 1 м² площади фильтра, равна:

$$\frac{k \cdot 1}{100} = \frac{0,27}{100} = 0,0027 \text{ м}^2.$$

Гайка имеет 6 отверстий диаметром 4—6 мм.

При диаметре отверстий 5 мм суммарная их площадь в одной гайке равна:

$$6 \cdot \frac{\pi \cdot 5^2}{4} = 118 \text{ мм}^2.$$

Следовательно, на 1 м² площади фильтра устанавливается $0,0027 : 0,000118 = 24$ гайки, а на всей площади фильтра — $12,4 \cdot 24 = 296 \approx 300$ гаек.

Последние, как видно из фиг. 332, заделываются в железобетонные плиты размерами около 1 м², в свою очередь укрепляемые на столбиках.

Аналогично рассчитывается дренаж с дырчатыми трубами, подводящими воду под решетку из досок на ребро. Намечается диаметр трубы D ; скорость в ней v_1 ; определяются k, f, d и n .

Оценивая дренажи различных типов, можно прийти к следующему выводу:

- теория дренажа разработана весьма слабо;
- расчет дренажа ведется не на основе его теории, а главным образом на основе результатов некоторых экспериментальных исследований, а в отдельных случаях — по аналогии без достаточных к тому обоснований;
- потребный напор для дренажа большого сопротивления значительно превышает таковой для дренажа малого сопротивления;
- во многих случаях может иметь место неравномерное загрязнение песка, зависящее от различных факторов (ненормальная работа желобов, ненормальная

эксплуатация и пр.); дренаж должен обеспечивать удовлетворительную промывку и в этих менее благоприятных условиях;

д) неравномерное загрязнение песка вызывает различную потерю напора. Чем меньшую часть эта потеря напора в песке при промывке составляет от общей потери напора, тем более равномерная промывка может быть достигнута; чем больше сопротивление в дренаже, тем меньше влияние возможной разницы в сопротивлениях в песке;

е) потери напора в песке фильтров с дренажем большого сопротивления (дренажем, у которого потери напора в отверстиях значительны) составляют небольшую часть общей потери напора в них, а потому дренаж большого сопротивления при совершенно одинаковых и равномерно распределенных отверстиях может обеспечить более равномерную промывку даже и при недостаточно равномерном загрязнении песка;

ж) шаровой дренаж и дренаж из дырчатых труб требуют меньшей строительной высоты фильтра, дренаж с деревянной решеткой — большей высоты; дренажи, имеющие большое количество мелких металлических частей, вообще нежелательны.

§ 23. Загрузочные (поддерживающие) слои и песок

Роль кварцевого песка как фильтрующего материала чаще наиболее значительна в верхнем его слое, но и в самой толще песка, загруженного в фильтр, благодаря проходящим сюда частицам коагулянта также происходит задержка взвеси и бактерий.

В английских фильтрах пленка, образующаяся на поверхности песка из минеральной и органической взвеси в период созревания фильтра, оказывает основное фильтрующее действие. В американских фильтрах пленка, образующаяся в очень короткие промежутки времени и состоящая главным образом из гидроокиси алюминия (с размещенными в ней песчинками), играет значительно меньшую роль, чем в английских. Установлено, что гидроокись алюминия проникает и в глубину песка, размещаясь между песчинками и обволакивая их, а также установлено то или иное участие всей толщи песка в процессе фильтрации.

Кварцевый песок обладает следующими достоинствами:

- 1) недорог, получение его не представляет трудностей;
- 2) обладает достаточной механической прочностью (в фильтре измельчается в слабой степени);
- 3) не влияет в заметной степени на химический состав воды;
- 4) хорошо и просто очищается от грязевых отложений (промывка); после промывки обладает первоначальной фильтрующей способностью.

Удельный вес кварцевого песка не должен быть ниже 2,6.

Некварцевые пески, как то: ракушечный, сланцевый, известняковый, как не обладающие всеми перечисленными свойствами, для целей фильтрации не пригодны.

Для загрузки фильтров можно использовать речной песок (он наиболее чистый, зерна его окатаны) или горный песок (он обычно крупнее, зерна неправильной формы); последний пригоден лишь при отсутствии в нем железа, глины и пр. Известны также случаи применения дробленого кварца.

Перед загрузкой фильтра песок должен быть просеян на специальных ситах, отсортирован и промыт. Промывка песка часто производится после его загрузки в самих фильтрах (обратным током воды).

Характеристика песка имеет решающее значение для работы фильтра. Крупность зерен песка и их однородность влияют на фильтрующую способность фильтра. Оценка пригодности и выбор песка проводятся на основании механического анализа. Последний производится в лабораториях просеиванием просушенного образца песка через ряд калиброванных сит с отверстиями разной величины.

Газен (США) установил, что пропускная способность песка при фильтрации

в наибольшей степени зависит от мелких зерен, поэтому условились пропускную способность всякого песка оценивать по размеру (калибру) того сита, которое пропускает 10% всего песка. Диаметр отверстия сита, или калибр сита, через которое проходит 10% (по весу) данного образца песка, назван эффективным размером песка. Однородность содержания зерен определенной крупности в образце песка оценивается коэффициентом однородности, который выражает отношение величины зерен средней крупности к эффективной величине зерен. Полагая, что средняя крупность зерен песка может характеризоваться калибром сита, через которое при просеивании пройдет 60% (по весу) данного образца песка, считают, что коэффициент однородности представляет отношение калибра сита, через которое проходит 60% образца, к калибру сита, через которое проходит 10% образца (отношение среднего размера зерна к эффективному).

Для загрузки фильтров (скорох, открытых) рекомендуется кварцевый песок, имеющий эффективный размер 0,35 — 0,45 мм и коэффициент однородности 1,6 — 1,8.

Для загрузки медленных фильтров применялся песок (Эльмс), имевший эффективный размер от 0,17 до 0,5. Характеристика песка для загрузки специальных фильтров приводится в описании этих фильтров.

Высота слоя песка в открытых фильтрах принимается равной 0,7 — 0,75 м; для особых конструкций фильтров толщина слоя песка приведена при описании этих конструкций.

Химический состав песка имеет особенное значение в кварцевых фильтрах, устанавливаемых на станциях умягчения воды. Проект стандарт Главэнергопрома предъявляет здесь следующие требования:

1) содержание кремнекислоты должно быть не менее 96%; общее содержание полутвердых окислов, окиси кальция и окиси магния не должно превышать 4%;

2) суммарное содержание окиси кальция и окиси магния должно быть ниже 1%;

3) кварц должен быть устойчивым по отношению к щелочной воде. Следует иметь в виду, что в горячем состоянии щелочная вода действует на всякий песок (только мрамор не обогащает воду кремнеземом).

Крупность зерен кварцевого песка напорных фильтров на станциях умягчения воды в соответствии с конструкцией фильтров (конструкция дренажа и поддерживающие слои) рекомендуется в пределах 0,5 — 1,0 мм. Из природного такой песок получить довольно трудно.

Охарактеризовав песок с различных точек зрения, следует еще указать на одну из характеристик — грязеемкость песка, которой в практике фильтрации пока еще не уделяют должного внимания. Грязеемкость характеризует состояние песка к концу периода действия фильтра и может быть выражена в соответствии с количеством взвешенных веществ, задержанных определенным слоем песка, загруженного в фильтре на площади в 1 м².

Песок поддерживается слоем гравия (кварцевая галька). Правильно подобранный гравий как в смысле высоты слоя, так и в смысле крупности является важным фактором в осуществлении равномерной промывки. Высота слоя в значительной степени зависит от конструкции дренажа и способа промывки фильтра. Для открытых скорох фильтров слой гравия обычно рекомендуется высотой до 600 мм. Весь слой гравия разделяется на ряд слоев, имеющих примерно следующую градацию размеров:

От 64 мм до 32 мм	150 мм
» 32 » » 16 »	150 »
» 16 » » 8 »	100 »
» 8 » » 4 »	100 »
» 4 » » 2 »	50 »
» 2 » » 1 »	50 »

Здесь крупность, например, в 1 — 2 мм показывает, что весь указанный гравий должен проходить при просеивании через сито с ячейками размером

2 мм и задерживаться на сите с ячейками размером 1 мм; то же и по отношению к слоям иной крупности.

Рекомендуемые размеры подобраны так, что вышележащий слой не будет просыпаться в расположенный ниже.

Гравий должен быть чистым и однообразно подобранным, в противном случае после промывок с большой интенсивностью он будет лежать в беспорядке. Первый слой в зависимости от интенсивности промывки, конструкции дренажа и пр. в редких случаях может быть большей толщины и более крупным; он в значительной мере содействует равномерному распределению воды во время промывки и сдвиг его с места может нарушить эту равномерность.

Общая высота слоя гравия должна быть наибольшей (примерно 600 мм и выше) для простейшего дренажа из досок, поставленных на ребро; несколько меньшей (450 — 500 мм) она может быть для весьма распространенного дренажа из дырчатых труб, а при меньших интенсивностях (фильтры с мешалками) общая высота слоя гравия может быть вдвое меньшей; наиболее крупный гравий здесь вовсе отсутствует.

Слой гравия превращает отдельные струи, выходящие из дренажа, в сплошной поток и распределяет этот поток по всей площади фильтра. При скоростях подъема воды до 1 м/мин, что соответствует интенсивности промывки $16 - 17 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$, правильно подобранный гравий еще остается неподвижным. Сдвиг

гравия может иметь место при прорывах воздуха, накапливающегося в дренаже. На такой сдвиг часто указывают воронки, обнаруживаемые на поверхности песка при спуске воды. Иногда из-за этого промывку начинают с меньшей интенсивностью, отчего воздух удаляется постепенно, а далее интенсивность увеличивается до принятой величины. Во время промывки фильтра гравий с песком не должен перемешиваться. Такое перемешивание может иметь место только при сдвиге гравия или при ненормально малой толщине его слоя. В этом случае песок проходит в дренажную систему.

В описываемых далее напорных фильтрах, устанавливаемых на станциях умягчения в соответствии с конструкцией дренажа, рекомендуется следующая крупность фракций поддерживающих слоев: 1 — 2,5; 2,5 — 5; 5 — 10 и 10 — 20 мм.

Гравий в отношении прочности, удельного веса, а также возможного влияния его на химический состав воды должен удовлетворять тем же требованиям, что и песок.

В тех случаях, когда гравий должен работать при высоких температурах или при сильных изменениях температур, он обязательно проверяется на термическую устойчивость (25-кратное попеременное погружение образца в кипящую воду на 10 — 15 мин. и в воду с температурой 10 — 20° на 5 — 6 мин.).

Таблица 13

№ сита или число про- волоков на дециметр	Размер ячейки, считая по сто- роне квадрата, в мм	Диаметр прово- локи в мм	Соответствует ячейке в мм
17	4,982	0,9	5
33	2,515	0,5	2,5
74	1,071	0,28	1
122	0,599	0,22	0,5

До утверждения стандарта на проволочные сита для просева и сортировки кварцевого песка и гравия Главэнергопром рекомендует применение изготавливаемых проволочных сит согласно данным табл. 13.

Проволочные сита для просева с ячейкой 10 мм изготавливаются из проволоки 1 мм, с ячейкой 20 мм — из проволоки 1,2—1,5 мм.

Кварцевый песок и гравий перед просевом просушиваются, а если они загрязнены, то предварительно промываются.

Просеивание крупных фракций идет через рамочные сита, поставленные под углом

60° в следующей последовательности: сито с ячейкой 20 мм, далее в 10 мм и 5 мм. Материал избрасывается на сито небольшими количествами. Просев более мелких фракций и песка производится на горизонтальных ситах путем их встряхивания.

Материал, не прошедший через первое сито, отбрасывается или дробится; прошедший через последнее сито отбрасывается; не прошедший через одно из сит составляет соответствующую фракцию соразмерно величине ячейки. Например, кварц, прошедший через

сито с ячейкой 10 мм, но оставшийся на сите с ячейкой 5 мм, составляет соответствующую фракцию крупностью 5—10 мм.

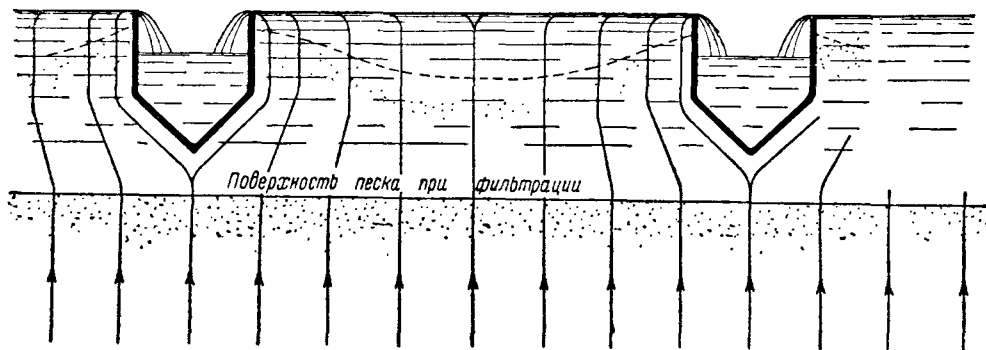
Для нейтрализации воды после коагулирования в отдельных случаях для фильтрации воды, обработанной известью или содой, для фильтрации воды с высокой щелочностью и температурой рекомендуют для загрузки фильтров применять мраморную крошку крупностью зерен 0,8 — 1 мм.

§ 24. Желоба. Отвод промывной (отработанной) воды

Для сбора и удаления грязной воды при промывке фильтра устраиваются специальные желоба, правильность работы которых оказывает определенное влияние на работу фильтра.

Желоба должны иметь достаточное сечение, не загромождать фильтра, обеспечивать равномерную промывку и легкое попадание в них муты со всей площади фильтра и препятствовать попаданию в них песка.

Желоба имеют еще и другое назначение — равномерный напуск воды на фильтр. Так как расход в желобах при промывке в несколько раз превышает расход в период фильтрации, то для расчета желоба необходимо принимать расход воды как на промывку.



Фиг. 343

У фильтров Джуэлль (и некоторых иных) круговой переливной жолоб образуется стенками резервуара (в который загружен песок) и наружной стенкой. Жолоб, «карман», или лоток, служит для приема и отвода грязной воды, переливающейся через кромку внутренней стенки, и для приема и распределения по фильтру воды, поступающей с отстойника.

Напорные фильтры (описание их приведено ниже) имеют вместо желобов воронки, расположенные по центральной оси фильтра на определенном расстоянии от поверхности песка.

В открытых прямоугольных фильтрах на определенном расстоянии от поверхности песка устраиваются навесные желоба, укрепляемые на консолях, заделанных в стены фильтра.

На фиг. 343 схематично показан путь, проходимый струями промывной воды.

При проектировании и расчете желобов необходимо наметить:

- 1) схему расположения желобов (в плане);
- 2) расстояние между отдельными желобами и количество желобов;
- 3) высоту желобов — расстояние от кромки переливного жолоба до поверхности песка;

4) форму желобов (в сечении);

5) величину сечения желобов.

1. Схема расположения желобов у открытого безмешалочного фильтра зависит главным образом от величины площади фильтра. Для очень малых фильтров

(площадью 10 — 12 м²) может быть запроектирован один жолоб по средней оси фильтра, для средних фильтров (площадью до 30 — 40 м²) может быть предусмотрено, например, три жолоба, переходящих в общий сборный жолоб (см. фиг. 333) с отводом грязной воды в общую трубу. Размер трубы и расположение ее должны обеспечивать быстрое удаление грязной воды. Вместо общего сборного жолоба в фильтре чаще устраивается общий лоток перед фильтром со сбросом воды из него в канализацию.

Для больших фильтров отвод всей воды к одной стороне фильтра представляется трудно выполнимым; в этих случаях сборный жолоб устраивается в виде канала посреди фильтра (он делит фильтр на две части), а к нему с обеих сторон примыкают жолоба (см. фиг. 335).

2. Расстояние между жолобами, расположенными параллельно, не может быть принято очень большим по той причине, что при длинном горизонтальном пути воды до жолобов из нее начнут выпадать грязевые частицы, поэтому расстояние между кромками жолобов не должно превышать 2 — 2,2 м (практика США); во избежание загромождения фильтра это расстояние не следует делать меньше 1,4 — 1,5 м.

3. Расстояние от кромки переливного жолоба до поверхности песка зависит от величины подъема песка, выражаемой в процентах от толщины его слоя. Подъем загруженного в фильтр песка зависит, как об этом далее подробно сказано, от свойств песка, интенсивности промывки и температуры воды. Если величину подъема песка определить для наибольшей возможной для проектируемого фильтра интенсивности промывки при наиминимальной температуре, то это и будет для данного песка основанием для определения положения жолоба.

Так как струи промывной воды имеют у жолобов вследствие стеснения ими площади фильтра повышенную скорость и, следовательно, подъем песка здесь может быть несколько большим, то высоту кромки жолоба над поверхностью песка следует принимать на 30 — 35% больше высоты наибольшего подъема песка при данных условиях (интенсивность промывки, температура).

Примерные величины подъема песка указаны далее при описании промывки фильтров.

Условия работы, температура и подъем песка посезонно меняются, однако, изменение высоты кромки жолоба или слоя песка на фильтре в связи с этим реально мало осуществимо. В соответствии с изменениями температуры воды может лишь изменяться интенсивность промывки.

Величине расстояния от кромки переливного жолоба до поверхности песка следует уделять серьезное внимание, так как при более высоком расположении жолобов не вся грязь будет уноситься промывной водой, а при более низком неизбежна потеря песка, тем более, что после ряда промывок наиболее мелкий песок займет в фильтре и наиболее высокое положение и сравнительно легко будет выноситься промывной водой. Чем коэффициент однородности песка больше, тем это явление сказывается сильнее (таким расслоением песка пользуются для сортировки и отмывки песка, свежезагруженного в фильтр). Неравномерная промывка и загрязнение песка также способствуют его выносу с фильтра.

Кромка жолоба должна быть строго горизонтальной и перелив должен осуществляться по всей длине кромки. В этом отношении удобны деревянные жолоба. При выполнении жолобов из железобетона в верхние края их целесообразно заделывать деревянные рейки, которые легко можно прострогать по уровню воды (в пусковой период).

4. Форма сечения жолобов должна быть удобообтекаемой. В этом отношении наилучшей формой является полукруглая (фиг. 344). Однако при применении для жолобов дерева и железобетона (сталь применяется редко) эта форма мало пригодна. Прямоугольная форма, наиболее просто выполняемая, непригодна как плохо обтекаемая и создающая более сильное загромождение фильтра. Наиболее приемлемая пятиугольная форма (фиг. 345).

5. Сечение жолоба по мере удаления от сборного жолоба может быть уменьшено (переменный расход) за счет глубины при постоянной ширине. Глубина

у начала желоба может быть принята равной примерно половине глубины в конце его.

Соотношение размеров желобов следует выбирать так, чтобы высота их была не менее чем на 15 — 20 см меньше принимаемого расстояния от кромки до поверхности песка; в противном случае желоб создаст препятствие для подъема песка; с другой стороны, нецелесообразно проектировать слишком широкие желоба, чтобы не загромождать поверхности фильтра и не стеснять сильно движения промывной воды вверх. Обычно величина сечения желоба не более 0,20 — 0,25 м²; для небольших фильтров сечение желобов следует принимать меньшим (до 0,1 — 0,15 м²).

Задавая проверенную практикой скорость движения воды в конце желоба в пределах 0,6 м/сек, намечают согласно пп. 1 и 2 количество желобов n ; площадь сечения желоба определяют по формуле:

$$f = \frac{FW}{1000 \cdot 0,6 n},$$

где F — площадь фильтра в м²;

W — интенсивность промывки в $\frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$.

Для желоба, имеющего площадь сечения согласно фиг. 345 равную $f = 4a^2$, определяется a .

Для желобов с иным сечением определение линейных размеров профиля после определения f также не представляет затруднений.

Обычно каждый желоб при длине его, принимаемой не более 5 — 6 м, в состоянии обслужить площадь порядка 10 м², а отводоспособность желоба (в конце) при указанной выше предельной площади сечения около 0,25 м² не должна превышать $0,6 \times 0,25 = 0,15 \text{ м}^3/\text{сек}$.

Пример. Площадь фильтра $F = 30 \text{ м}^2$. Интенсивность промывки $W = 12,5 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$. Принимаем число желобов $n = 3$ (из желобов вода поступает в сборный лоток перед фильтром). Тогда

$$f = \frac{30 \cdot 12,5}{1000 \cdot 0,6 \cdot 3} = 0,208 \text{ м}^2.$$

Если сечение желоба принять по фиг. 345, то

$$4a^2 = 0,208 \text{ м}^2,$$

откуда

$$a = 0,228 \text{ м}.$$

Ширина желоба в свету $2a = 0,456 \text{ м}$. Ширина желоба с учетом толщины стенок (дерево) равна 0,556 м. Следует еще проверить, позволяет ли ширина желоба при допустимых расстояниях между кромками желобов расположить три желоба по ширине фильтра. Ширина фильтра при трех желобах будет равна:

$$3 \cdot 0,556 + 3 \cdot 1,4 = 1,67 + 4,2 = 5,87 \text{ м}.$$

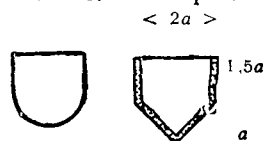
Длина желоба (длина фильтра) будет равна 5,1 м.

Следует также проверить расположение желоба и в высотном отношении.

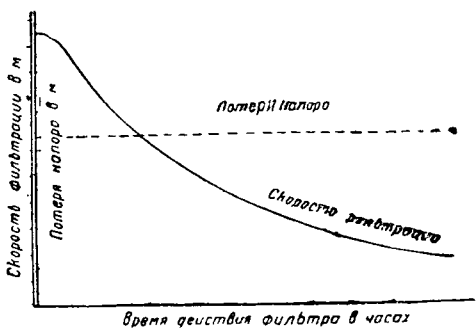
§ 25. Потеря напора. Вакуум в фильтре. Регуляторы скорости фильтрации

Потеря напора в фильтре обусловлена конструкцией фильтра (характеристика и толщина слоя песка) и технологическим процессом (скорость фильтрации, условия коагулирования воды и пр.).

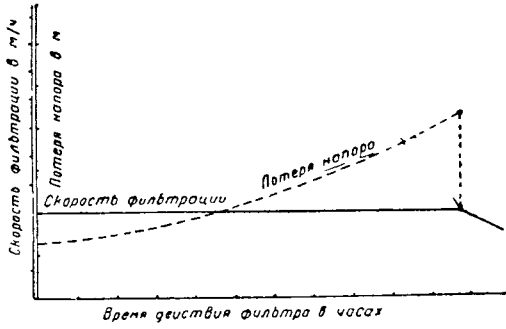
При неизменной скорости фильтрации потеря напора в фильтре по мере его действия увеличивается вследствие возрастающего загрязнения песка. Постоянная скорость фильтрации в одном и том же фильтре при неизменной отметке воды над фильтром сама по себе не может иметь места. В начале действия фильтра эта скорость будет наибольшей, а по мере загрязнения фильтра она уменьшается. Принципиальные изменения скорости фильтрации для такого случая (т. е. без



регулирования) показаны на фиг. 346. Качество фильтрата зависит от скорости фильтрации и поэтому не может быть гарантировано при больших скоростях, имеющих место после промывки фильтра, и при переменных скоростях фильтрации. Необходимо, чтобы весь период действия от промывки до промывки фильтр работал с постоянной скоростью и производительностью. На фиг. 347 показана характеристика работы фильтра в этом случае. Скорость фильтрации здесь регулируется и остается постоянной за весь период действия фильтра. Это достигается включением в трубопровод, отводящий с фильтра осветленную воду, осо-



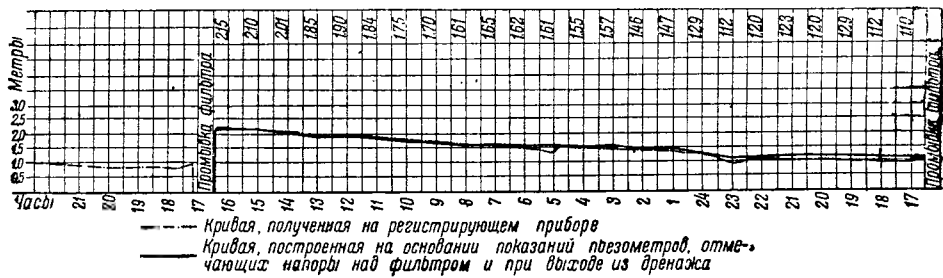
Фиг. 346



Фиг. 347

бого регулятора, уменьшающего проходное сечение в начале работы фильтра и открывающего проходное сечение в большей и большей степени по мере загрязнения фильтра.

Конечная потеря напора в фильтре, показанная на фиг. 347, соответствует полностью открытому регулятору. Далее фильтр должен быть промыт, так как регулятор не в состоянии более компенсировать увеличивающуюся потерю напора, и скорость фильтрации уменьшится. Таким образом, наибольшая потеря напора в фильтре является основным показателем необходимости его промывки.



Фиг. 348

На графике фиг. 348 показаны изменения потери напора в фильтре одного из водопроводов. Потеря напора после промывки, или так называемая первоначальная потеря напора, на фиг. 348 несколько увеличена; она должна быть значительно меньшей (до 0,5 — 0,6 м). Это объясняется здесь частичной загрязненностью песка, являющейся следствием недостаточно удовлетворительной промывки. Первоначальная потеря напора зависит от конструкции фильтра, включая дренаж и поддерживающие слои, толщины слоя песка и его характеристики.

Наибольшая потеря напора в фильтре зависит, кроме того, от характера взвеси в воде, условий коагулирования и пр. и достигает 2,5 м или несколько более.

На фиг. 349 представлены в виде графиков результаты исследования работы безмешалочного фильтра (Научно-исследовательский институт коммунального хозяйства в Ленинграде), загруженного песком эффективной крупности 0,3 мм и с коэффициентом однородности 2,6; фильтр оборудован ртутными вакуумметрами, дающими показания в ряде точек загрузки, пьезометрами и показателями потери напора.

Вся потеря напора определялась как разность отметок воды на фильтре и в пьезометре перед регулятором, а потери напора в каждом слое загрузки — как разность показаний приборов у границ этого слоя.

На фиг. 349 также показаны кривая изменения уровня воды на фильтре, кривая действующего напора, то же остаточного напора (т. е. разности между действующим и потерянным напором), кривая суммарной потери напора в фильтре, то же потеря напора только в пленке и во всей загрузке.

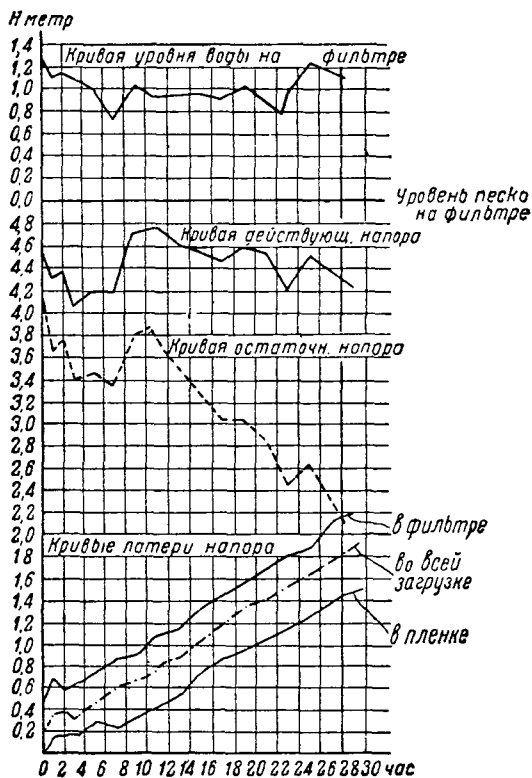
Как видно, наибольшая потеря напора имеет место в пленке, точнее в верхнем слое песка толщиной около 1 см с отлагающимся здесь большим количеством хлопьев коагулянта и мелкой взвеси. В начале работы фильтра сопротивление в пленке незначительно, но далее оно становится все большим и к концу периода действия фильтра достигает величины порядка 1,5 м при общей потере напора в фильтре 2,2 м. Потеря напора во всем слое песка, не считая незначительный верхний слой, колеблется примерно от 20 до 40—50 см к концу периода действия. В зависимости от условий коагулирования и возможности проникновения мелких частиц коагулянта внутрь слоя песка потеря напора в нем может быть большей (примерно до 1 м).

Можно считать, что потеря напора при фильтрации в поддерживающих слоях незначительна и составляет до 3% от общей потери напора, в песке — 15—25%, в пленке — 60—70% (к концу периода действия), в дренаже — в зависимости от его конструкции.

Названные величины приведены лишь для ориентировки и зависят от конструкции и условий работы фильтров.

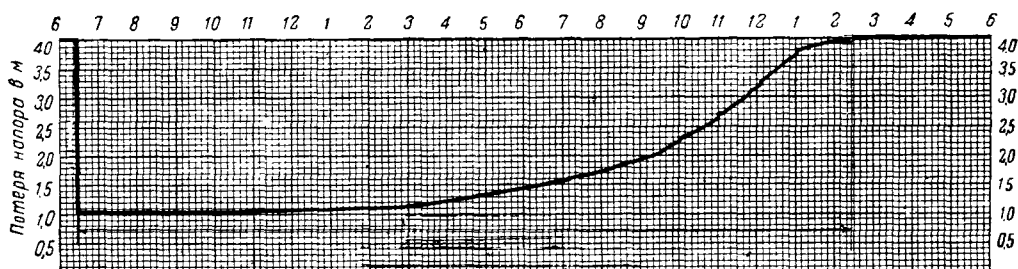
Вакуум в фильтре. Осветленная вода от фильтра отводится трубопроводом в резервуар. При отсутствии доступа воздуха в нижнюю часть фильтра в нем может образоваться вакуум в случаях, когда потеря напора в отдельных местах больше, чем высота столба воды над этими местами. Образованию вакуума способствует значительное нарастание потери напора в пленке фильтра, верхнем слое песка, где в пределах незначительной толщины этого слоя получается более половины всей потери напора.

Законы движения воды в фильтре в этом случае, естественно, усложняются. Кривая потери напора в фильтре, приближающаяся к наклонной прямой (фиг. 348), указывает на определенную закономерность в приросте потери напора. Такая закономерность может иметь место лишь при нормальной работе фильтра. При ненормальной работе характер кривой меняется, как это показано на фиг. 350 для одного фильтра Джюзль. Здесь при наличии вакуума в фильтре кривая потери напора более или менее резко идет вверх, так как при вакууме из воды выделяется растворенный в ней воздух (и иные газы). Выделившиеся из воды пузырьки воздуха, располагаясь между песчинками, «загрязняют» фильтр, увеличивают сопротивление в нем и резко увеличивают потерю напора. При обра-



Фиг. 349

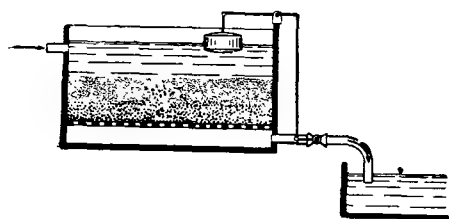
зующемся в фильтре вакууме нарастание потери напора идет быстро, и период действия фильтра уменьшается. С увеличением высоты слоя воды над песком фильтра возможность появления вакуума в песке уменьшается. Таким образом, для нормальной работы фильтра уровень воды над песком должен быть постоянным и значительным (1 — 1,3 м). Деталь конструкции отстойника в том месте, где вода из него отводится на фильтр, должна быть так запроектирована, чтобы исключить возможность засасывания здесь воздуха с водой.



Фиг. 350

Температура воды также оказывает влияние на работу фильтра. Так, при более высокой температуре нарастание потери напора может идти значительно быстрее за счет более легкого выделения пузырьков воздуха. Это может привести к уменьшению периода действия фильтра, к увеличению общего расхода воды, идущей на промывку, и т. д. Гидравлический режим работы фильтра должен быть по возможности постоянным; уровень воды на фильтре также должен быть постоянным. Регулирование подачи воды в сеть должно выполняться резервуаром чистой воды. Отрицательное влияние вакуума требует внимательного отношения к этому явлению и предупреждения его образования.

В некоторых (весьма редких) случаях газы в воде могут образоваться в результате химических и биохимических процессов (определенные микроорганизмы способствуют перенасыщению некоторых вод растворенным кислородом).



Фиг. 350а

Следует еще заметить, что при наличии воздуха в фильтрах при промывке их может иметь место потеря песка, так как пена, собирающаяся в таких случаях на поверхности, содержит песок.

Регулирование скорости фильтрации¹ возможно вручную и автоматически.

Регулирование вручную можно осуществить при помощи задвижки на трубопроводе, отводящем воду с фильтра, ориентируясь при этом на показаниях водомера.

Трудно допустить, чтобы обслуживающий персонал удовлетворительно регулировал скорость фильтрации. Падение скорости фильтрации может быть замечено не сразу: фильтр будет работать с переменными скоростями, изменяющимися в определенных пределах от некоторого максимума тотчас после открытия задвижки до некоторого минимума, предшествующего дальнейшему увеличению этого открытия.

Колебания скорости фильтрации не могут не отразиться на качестве работы фильтра. Таким образом, регулирование вручную, как правило, не должно иметь места.

¹ Вопрос рассматривается независимо от конструкции фильтра.

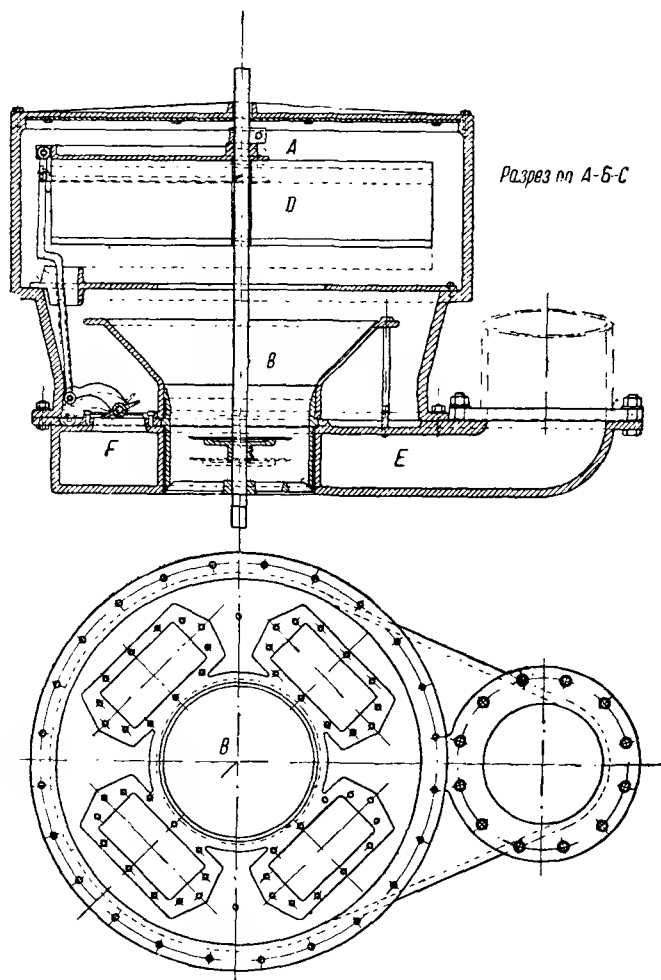
Простейшая схема автоматического регулирования (см. фиг. 350а) заключается в том, что на трубопроводе, отводящем воду с фильтра, устанавливается поплавковый регулятор закрытого типа. С увеличением загрязнения фильтра и потери напора в нем производительность фильтра должна снизиться, а уровень воды над песком повыситься, вследствие этого проходное сечение регулятора, связанное с поплавком, увеличивается, и скорость фильтрации остается примерно одинаковой. Недостатком указанной схемы необходимость подачи постоянного количества воды на каждый фильтр. Если уровень воды на фильтре будет колебаться независимо от загрязнения фильтра, то сохранение постоянной скорости при указанном регуляторе неосуществимо. Схема применима в случае работы одного фильтра при постоянной подаче на него воды и принципиально могла бы быть допущена для нескольких фильтров при неизменной подаче и равномерном распределении воды на каждый из них.

Большое распространение имел регулятор Вестона (фиг. 351). Он состоит из поплавковой камеры *A* с воронкой *B*, в которой перемещается диск, сидящий на штоке, проходящем через поплавок *D*. Шток связан с поплавком *D*.

Профильтрованная вода попадает в пространство *E*, откуда через дроссельные клапаны *F* в верхнюю часть камеры и далее в воронку *B*. Диск перемещается вместе с поплавком, поэтому уровень воды над ним постоянен, и количество воды, пропускаемое регулятором, не меняется.

Дроссельные клапаны при помощи рычагов связаны с поплавком *D*, они прикрываются при большем притоке воды в регулятор и, наоборот, открываются при уменьшении количества воды, поступающей в регулятор. Для установки фильтра на другую производительность необходимо изменение проходного сечения (кольцевой щели), образуемого диском и цилиндрическим отверстием. Для этой цели диск меняется на другой большего или меньшего диаметра. Это не требует продолжительного промежутка времени, но требует перерыва в работе фильтра и нежелательно с гигиенической точки зрения. Регуляторы Вестона для современных установок уже не проектируются, но они установлены на большинстве фильтров Джюзаль.

На фиг. 352 показаны дроссельный клапан и его установка. Клапан используется для регулирования скорости фильтрации. Поплавок расположен здесь не непосредственно над фильтром, а в особом кармане. Поплавковые регуляторы для напорных фильтров неприменимы.



Фиг. 351

За границей исключительным распространением пользуются регуляторы, основанные на действии трубы Вентури, часто поэтому называемые регуляторами Вентури. Эти регуляторы в настоящее время

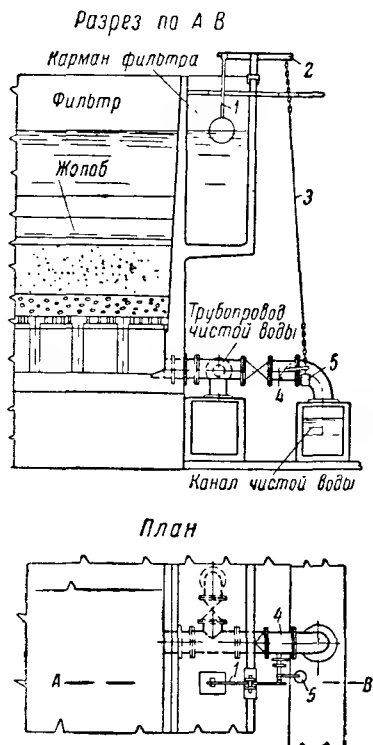
осваиваются в СССР. Они в различных модификациях устанавливаются на водопроводах США и Европы, так как обладают достаточной чувствительностью, хорошо работают и удовлетворительны в гигиеническом отношении.

На фиг. 353 представлен разрез одного из таких регуляторов; последний устанавливается на трубопроводе, отводящем профильтрованную воду; он состоит из трубы Вентури и двухседельного (разгруженного) клапана, корпус которого соединен с трубой Вентури.

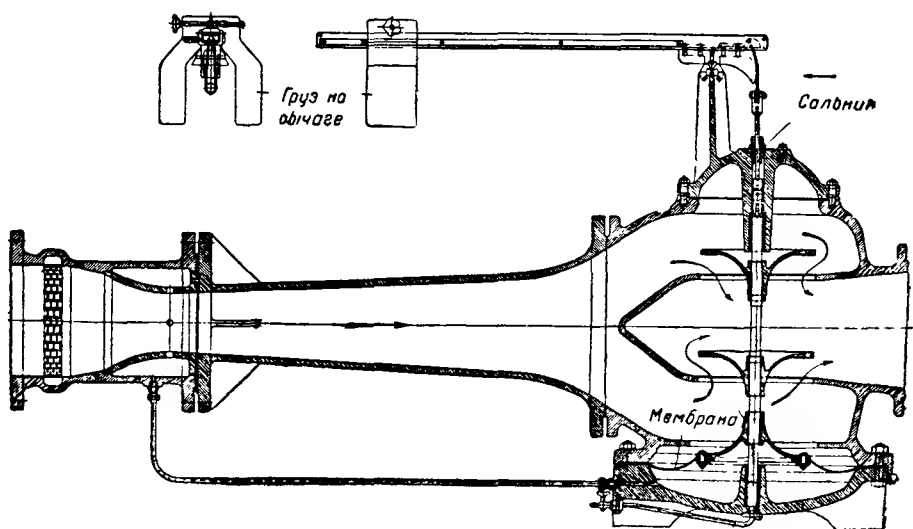
Двухседельный клапан может перемещаться вместе с вертикальной осью, при этом проходное сечение увеличивается или уменьшается. На той же оси в нижней части регулятора помещается особая шайба с прикрепленной к ней гибкой мембраной, закрепленной в корпусе регулятора.

Таким образом, в нижней части регулятора образуется замкнутое пространство. Последнее соединяется трубкой с суженным сечением трубы Вентури и, следовательно, находится под меньшим давлением. Выше мембраны в регуляторе давление такое же, как и в расширенной части трубы Вентури. Имеющаяся разность давлений стремится перемещать мембрану вниз. Ось клапанов связана с коротким плечом рычага, на длинном плече которого имеется передвижной груз; положение груза можно изменять в связи с устанавливаемой скоростью фильтрации, так как определенное положение груза во время работы регулятора дает опре-

деленное открытие клапанов. На рычаге имеется соответствующая шкала. При выключении фильтра клапаны находятся только под действием груза



Фиг. 352. Схема установки двухседельного клапана в качестве регулятора скорости фильтрации
1—поплавок; 2—рычаг; 3—тяга; 4—дроссельный клапан; 5—груз



Фиг. 353

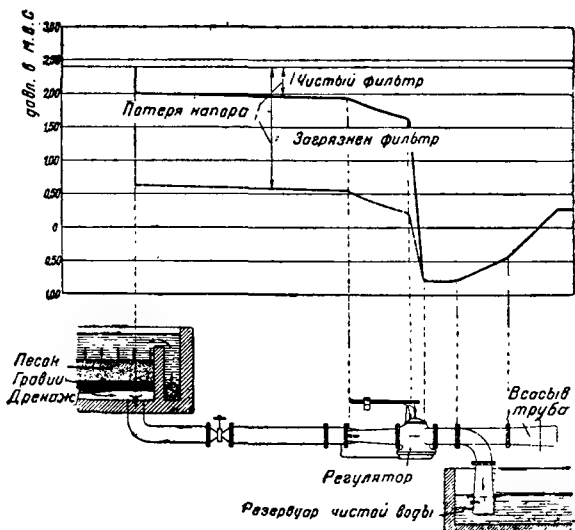
на большом плече и потому полностью открываются. При включении фильтра и регулятора в работу клапаны находятся под воздействием двух сил: вес груза стремится приподнять клапаны вверх, а разность давлений на диафрагму сверху и снизу стремится опустить клапаны вниз. Устанавливается равновесие—регулятор открыт в соответствии с определенной скоростью фильтрации. Груз на шкале установлен для заданной скорости. Если фильтр работает с большей скоростью, то давление в суженной части трубы Вентури и под диафрагмой уменьшается, клапаны опускаются, проходное сечение уменьшается и сопротивление возрастает.

По мере загрязнения фильтра скорость фильтрации уменьшается, давление под диафрагмой возрастает, клапаны поднимаются, проходное сечение увеличивается и уменьшается сопротивление. Так осуществляется автоматическое регулирование скорости фильтрации.

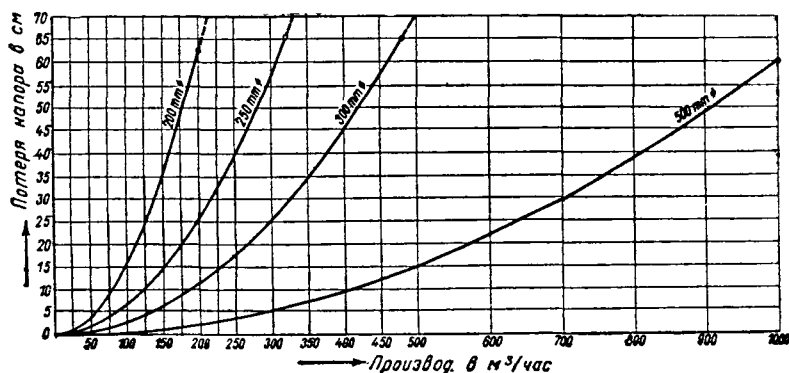
На фиг. 354 даны схема установки регулятора скорости фильтрации и кривые давлений.

Потери напора в одном из типов описанных регуляторов

характеризуются кривыми, изображенными на фиг. 355. Регуляторы типа Вентури достаточно надежны и точны и могут работать в известных пределах



Фиг. 354



Фиг. 355

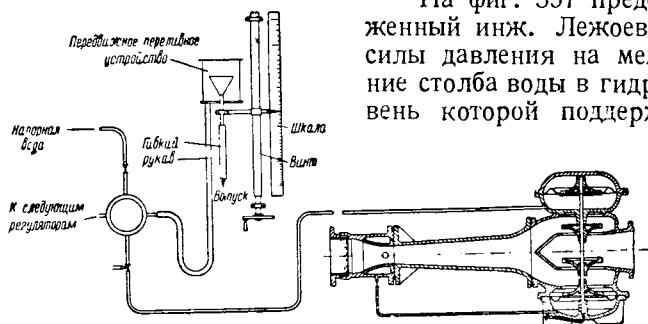
изменения скорости. Регуляторы эти закрыты, что очень важно в гигиеническом отношении. Кроме того, труба Вентури позволяет осуществить установку ряда связываемых с ней приборов для контроля работы фильтров.

Для единого управления всеми фильтрами могут применяться регуляторы с гидравлическим приспособлением для установки их на ту или иную скорость фильтрации.

Как видно из схемы фиг. 356, в верхней части регулятора имеется дополнительная мембрана, связанная с осью клапанов и образующая замкнутое пространство, находя-

шееся под давлением воды в специальном резервуарчике. Давление на верхнюю мембрану используется здесь так же, как груз на рычаге в рассмотренном уже регуляторе.

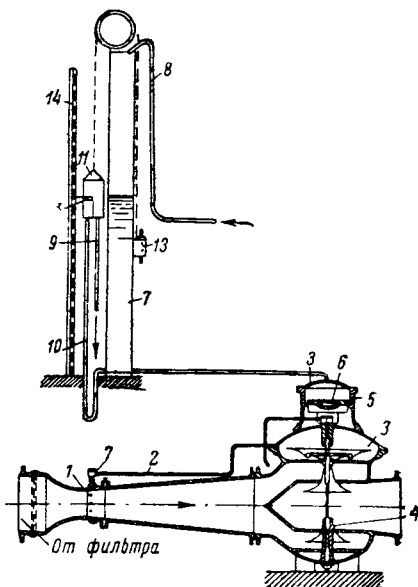
Давление это в рассматриваемой схеме изменяется в зависимости от положения переливного устройства, снабженного соответствующей шкалой.



Фиг. 356

На фиг. 357 представлен регулятор, предложенный инж. Лежовым. Для уравнивания силы давления на мембрану используется давление столба воды в гидравлической колонке 7, уровень которой поддерживается постоянным. При изменении этого уровня, что достигается передвижением сосуда 11, изменяется давление на поршень гидравлического устройства 5, перемещается ось с клапанами и изменяется скорость фильтрации. Остальное ясно из фигуры.

Для небольших фильтров, примерно до 20 м², можно ограничиться установкой регуляторов дроссельного типа, так как последние могут быть изготовлены на месте строительства станции обработки воды. Для больших фильтров можно проектировать регуляторы типа Вентури системы Лежоева. В ряде случаев необходимо осуществлять регулирование интенсивности промывки. Принципиально такое регулирование при установке, например, регулятора на трубопроводе промывной воды дает возможность осуществлять промывку фильтра с различными интенсивностями в зависимости от температуры воды. Регулирование интенсивности промывки для открытых фильтров обычно не осуществляется. Что касается напорных фильтров, то здесь при невозможности наблюдения за работой фильтрующей среды и явлениями, происходящими в песке, такое регулирование необходимо. На фиг. 357а показана установка регулятора интенсивности промывки (дроссельный клапан) на трубе, отводящей промывную воду с цеолитового фильтра; такой регулятор установлен у каждого фильтра.



Фиг. 357

1—труба Вентури (суженная часть); 2—трубка; 3—корпус регулятора; 4—клапан двухседельный; 5—гидравлическое устройство; 6—поршень; 7—гидравлическая колонка; 8—9—трубка; 10—11—сосуд; 13—приспособление для перемещения сосуда; 14—рейка

§ 26. Промывка фильтров

Промывка является самым существенным в эксплуатации фильтров. Значение промывки настолько большое, что проектирование и конструирование фильтров основываются на элементах, стоящих в прямой зависимости именно от промывки.

Промывка фильтров с мешалками идет при подаче воды через систему дренажа сни-

зу вверх (интенсивность промывки до 6 $\frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$). Промывка эта вследствие дополнительного действия мешалок идет удовлетворительно.

Промывка скорого безмешалочного фильтра иногда вследствие целого ряда причин протекает недостаточно удовлетворительно.

Требования, предъявляемые к промывке, сводятся к следующему:

- а) песок фильтров должен быть равномерно промыт;
- б) песок должен быть чистым после промывки, а фильтр готов к нормальной фильтрации;
- в) вынос песка с фильтра не должен иметь места;
- г) расход промывной воды должен быть минимальным;
- д) продолжительность промывки должна быть минимальной.

Равномерность промывки должна обеспечиваться как по всей площади фильтра, так и по всей толще загруженного в него песка. Степень промывки, или степень чистоты песка после промывки, должна быть для всех зерен песка одинаковой. Основной деталью конструкции фильтра, обеспечивающей равномерность промывки, является дренаж фильтра. Однако равномерность промывки зависит от интенсивности промывки и загрузки поддерживающих слоев, а иногда от свойств воды, а также от правильной работы устройств для удаления промывной воды.

Чистота песка после промывки должна быть такой же, как и до начала работы фильтра, при этом на поверхности песка не должно быть пленки и грязевых отложений, а также и загрязнений внутри песка, и фильтр должен быть готов к нормальной работе.

В песке встречаются следующие ненормальности: образование слипшихся мест, т. е. плотно слипшихся зерен песка, не распающихся во время промывки; такие слипшиеся места образуются от постепенно увеличивающихся небольших комков или шариков; образование трещин в песке около стенок фильтра; трещины эти являются следствием образования вала из твердой грязеобразной смеси мелкого песка, коагулянта, частиц глины и пр. над гравием ниже того места, где обнаруживается трещина. Признаками слипания песка и указанных ненормальностей в нем являются неровная поверхность песка, сморщивание и пр., обнаруживаемые при спуске воды после промывки.

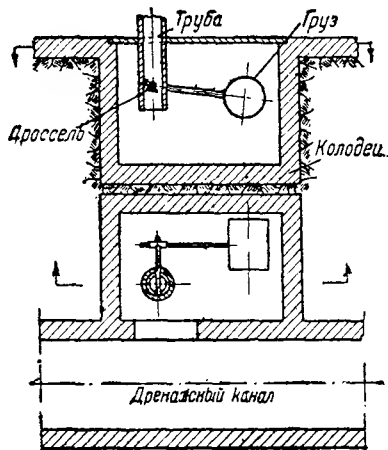
Причиной постепенного слипания могут быть и неудовлетворительная промывка и в отдельных случаях, повидимому, свойства самой воды, т. е. содержание в ней органических составных частей. Иногда на поверхности песка в фильтре образуются воронки, являющиеся результатом сдвига гравия или следствием недостаточности его слоя; такой сдвиг гравия может иметь место вследствие накопления и прорыва воздуха в дренаже в начале промывки.

Равномерная и достаточная промывка должна, как правило, обеспечить однородную светлую и чистую поверхность песка, отсутствие грязевых шариков и комьев, трещин и воронок, слипшихся мест и т. д.

Вынос песка с фильтра является результатом плохой промывки зерен песка и обволакивания их грязевыми отложениями.

Размер песчинок при этом увеличивается, а удельный вес песчинки с налипшей грязью уменьшается (удельный вес чистого кварцевого песка 2,6, удельный вес грязевых слизистых отложений около 1). Грязевые частицы, обволакивающие песчаные зерна, частично содержат коагулирующее желеподобное вещество, способное задерживать в себе большое количество воды, т. е. они увеличивают объем зерен песка, не увеличивая значительно их вес; в результате может иметь место вынос песка с фильтра.

Загрязнение песка легко устанавливается химическим анализом. Показателем загрязнения песка или ненормального его состояния является первоначальная потеря напора в фильтре. Обычно она для безмешалочных фильтров ана-



Фиг. 357а

логичных конструкций мало отличается (около 0,6 м), но для каждого фильтра она вообще должна быть определенной, и изменение этой величины указывает на ненормальное загрязнение фильтра или «засорение» его пузырьками воздуха.

Расход промывной воды и продолжительность промывки при условии достижения удовлетворительной промывки являются предметом особого внимания в эксплуатации. Работа ряда станций по обработке воды показала, что при улучшении промывки увеличивается длительность работы фильтров между промывками, значительно экономится промывная вода и, кроме того, чистый песок повышает бактериальный эффект работы фильтра.

Условия промывки, или факторы, характеризующие и влияющие на промывку, следующие:

- 1) интенсивность, или скорость, промывки;
- 2) температура воды;
- 3) подъем песка;
- 4) продолжительность промывки;
- 5) удаление промывной воды.

Первые четыре фактора, как это видно из дальнейшего, связаны между собой.

Интенсивность промывки, как указывалось, принимается в современных конструкциях безмешалочных фильтров в пределах $10 - 15 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$, что соот-

ветствует скорости подъема промывной воды в фильтре или скорости промывки 60 — 90 см/мин. При указанных больших интенсивностях, или скоростях, промывки встряхивания зерен песка достаточно, чтобы освободить их от грязевых отложений и коагулирующего вещества, налипших на них, и чтобы несколько измельчить эти вещества с целью более легкого удаления их промывной водой. Очевидно, размер зерен песка, их удельный вес и температура воды влияют на количество воды, необходимое для приведения песка в должное движение, т. е. на интенсивность или скорость промывки.

В качестве критерия для установления необходимой и достаточной промывки фильтров принят так называемый подъем песка. Исследователями (в США) было установлено, что подъем песка во время промывки открытых фильтров в пределах 45 — 50% от высоты слоя песка в рабочем состоянии (при фильтрации) дает необходимое встряхивание, приводящее к надлежащей его очистке. Суть здесь в том, что зерна песка, находясь во взвешенном состоянии, ударяются и трутся друг о друга, благодаря чему грязь освобождается и проходит между песчинками.

Подъем песка определяется в процентах от толщины слоя; при любой скорости промывки высота, на которую поднимается песок в фильтре, пропорциональна высоте слоя песка, т. е. процент подъема не зависит от высоты слоя песка.

Опасения выноса песка при больших интенсивностях не имеют оснований; при меньших интенсивностях песок отмывается плохо; удельный вес зерен с налипшими грязевыми отложениями, состоящими частично из глинозема и частично из нерастворимых частиц глины, ила и пр., уменьшается, и они могут быть вынесены вместе с промывной водой.

Подъем песка, а следовательно, и результаты промывки зависят еще от размера, формы и удельного веса зерен песка и от температуры промывной воды. Интенсивность, или скорость, промывки должна изменяться с изменением температуры воды.

Измерения подъема песка имеют следующие значения: 1) определение величины подъема песка, 2) приспособление скорости промывки фильтра к желаемой степени подъема песка, 3) поддержание этого подъема постоянным во время последующих промывок без измерения скорости и температуры промывной воды.

Для определения подъема песка можно применить вертикальный стержень с прикрепленными к нему по высоте медными чашечками глубиной 6 мм, расположенными

вокруг шеста по спирали так, что каждая чашечка сдвинута в сторону против следующей примерно на 10 мм.

Во время промывки шест с чашечками опускается в фильтр, далее измеряется расстояние от кромки желобов до самой верхней чашечки, наполнившейся песком во время промывки. Измерив расстояние от кромки желоба до уровня песка и вычтя первую величину из второй, определяют величину подъема песка, а разделив ее на высоту слоя песка, определяют и процент подъема.

То же можно определить, приспособив на конце вертикального стержня с делениями 6-в электрическую лампочку.

Шест опускается в фильтр при промывке; как только лампочка попадет во взвешенный песок, свет сразу затемняется. Таким образом, определяются положение границы взвешенного песка и далее его подъем.

Прибор для указания подъема песка «указатель подъема» состоит из поплавка и указателя, дающего представление о вертикальном перемещении поплавка. Вес поплавка так подобран, что он тонет в воде и находится в равновесии на поверхности приподнятого песка.

Промывка фильтра ведется с таким открытием задвижки на трубопроводе, подводящем промывную воду, чтобы получилась желательная степень подъема песка; последняя отмечается сообразно с движением поплавка вверх.

Опытами по промывке фильтров в США подтверждено, что высота слоя песка не влияет на подъем его, выраженный в процентах; расположение кромки переливного желоба, повидимому, не влияет на подъем песка; подъем зависит только от скорости промывки, температуры воды и свойств самого песка.

Установлен общий вид зависимости

$$r = a + te,$$

где r — скорость промывки в 1 мин.;

a — минимальная скорость промывки, необходимая для начала подъема песка;

e — подъем песка, выраженный в процентах;

t — увеличение скорости промывки, необходимое для увеличения подъема на 1%.

Из этой зависимости следует, что по достижении минимальной скорости промывки, необходимой для начала подъема песка, процент расширения (подъема) песка пропорционален дальнейшему повышению скорости промывки.

Как показали наблюдения, значения t и a увеличиваются по мере увеличения размеров песка и температуры воды. Таким образом, чем крупнее песок и выше температура воды, тем скорость промывки для достижения того же подъема песка должна быть большей.

Влияние температуры следует понимать так: с уменьшением температуры имеет место увеличение вязкости воды, т. е. увеличение сопротивления при движении между зернами песка; это ведет к большему подъему песка; или то же, трение зерен песка, находящихся во взвешенном состоянии, о воду увеличивает с уменьшением температуры, и это ведет к большему подъему песка.

На основании экспериментальных исследований в США предложена следующая формула для определения потребной скорости промывки:

$$r = [(1,04 + 0,01) (t - 32)] (s - 0,17) e + \frac{5,9}{1 - (s - 0,17)} + 0,24 s (t - 32) - 7,4,$$

где r — скорость промывки в 1 мин.¹;

e — подъем песка в % по отношению к первоначальной высоте слоя;

t — температура воды в градусах по Фаренгейту;

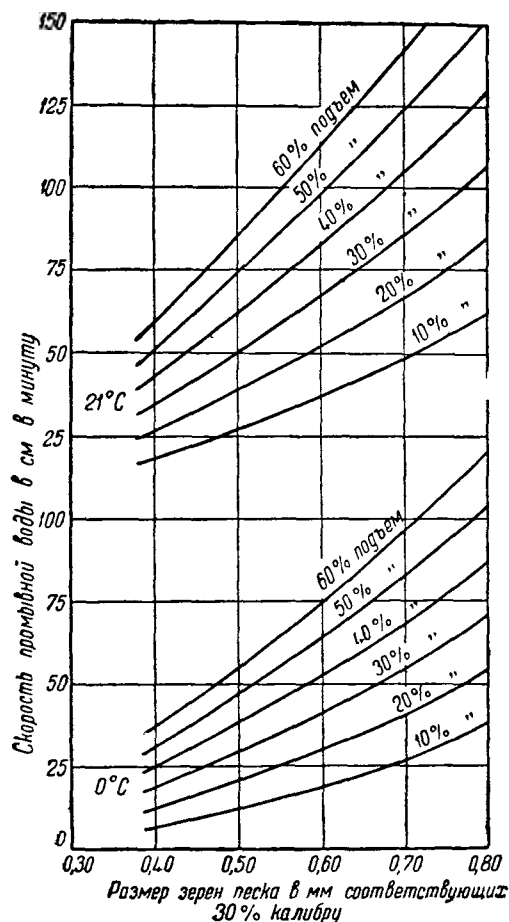
s — диаметр в мм, соответствующий 30%-ному калибру, т. е. калибру такого сита, через которое проходит 30% песка, загруженного в фильтр.

Скорость промывки, или интенсивность промывки, следует принимать в каждом отдельном случае для получения намеченного подъема песка в зависимости

¹ Скорость эта в США принята в дюймах.

сти от крупности песка и наибольшей температуры обрабатываемой воды.

Два ряда кривых фиг. 358, построенных по приведенной формуле, дают скорость промывки для различного подъема песка при температуре от 0 до 21°. По оси абсцисс отложены размеры зерен песка в миллиметрах, соответствующие 30%-ному калибру. Например, при диаметре зерен, соответствующем 30%-ному калибру и равном 0,45 мм, при температуре воды 21° для подъема песка на 50% скорость промывки должна быть равна около 63 см/мин, для зимних условий



Фиг. 358

работы — около 40 см/мин; для несколько более крупного песка потребная скорость промывки сильно увеличивается. Для большей надежности работы следует скорость промывки (для наивысшей температуры) принимать несколько большей в силу возможных отклонений в сортировке и подборе песка, в форме его зерен, удельном весе и пр.; самую же промывку осуществлять с той или иной скоростью в зависимости от сезонных колебаний температуры.

Принимая большие скорости промывки, следует уделять должное внимание нормальному подбору и укладке гравия. При нормальной рекомендуемой высоте слоя гравия и высоких скоростях промывки сдвига его нет, при небольшом слое гравия и больших скоростях промывки известны случаи его сдвига, а это в дальнейшем влечет неудовлетворительную работу фильтра.

Продолжительность и частота промывки являются весьма существенными факторами в эксплуатации. Критерием окончания промывки обычно считают достаточную прозрачность последних порций промывной воды.

Продолжительность промывки увеличивается с уменьшением скорости промывки непропорционально, при этом возрастает расход промывной воды, а эффект промывки может быть ухудшен.

Промывка в нормальных условиях продолжается до 5 мин., продолжительность промывки фильтров с мешалками 8 — 10 мин., все операции по управлению задвижками требуют еще нескольких минут. Частота промывки, обычно посезонно, может колебаться. Средняя продолжительность одного периода работы фильтров между промывками, вычисляемая путем деления общего числа часов работы фильтров на число промывок, колеблется по месяцам. В начале весны она меньше (обработка поверхностных вод), зимой — больше. Количество промывок одного фильтра в сутки в начале весны иногда доходит до двух и очень редко (при неудовлетворительной работе отстойников) до трех.

Промывку, как правило, необходимо начинать в момент достижения наибольшей потери напора в фильтре, а иногда и ранее этого момента, как только физические свойства воды начинают ухудшаться и вода начинает слегка опалесцировать.

Тенденция промывать фильтры обязательно один раз в сутки неправильна: иногда это нужно делать чаще, иногда в этом нет необходимости и фильтры можно промывать реже. На продолжительности промывки и расходе промывной воды отражается способ управления задвижкой на промывном трубопроводе. Действительно, вода, подающаяся в дренаж с малой скоростью в начале и конце промывки (постепенное открытие и закрытие задвижки), очистку песка ни в какой степени не осуществляет, отсюда целесообразность проектирования на промывной линии гидравлических задвижек (за исключением малых фильтров), дающих быстрое открытие и закрытие.

Расход промывной воды при нормальной промывке выражается величиной, не превосходящей в среднем за год 4 — 5% от производительности фильтров. Указанный расход не предусматривает потерю воды на спуск осадков из отстойников, промывку последних и пр.

Дополнительная обработка загрязненного песка фильтров

При загрязнении песка фильтра и невозможности отмыть его обычным способом следует применить дополнительную отмывку его раствором каустической соды.

Сода рассыпается на поверхности песка, после чего на песок снизу подается некоторое количество промывной воды слоем 200 — 250 мм до получения на поверхности песка примерно 2%-ного раствора соды. Для большего однообразия крепости раствора его перемешивают лопаткой или веслом. Затем половину раствора пропускают в фильтр и оставляют так на сутки, после чего и остальную часть раствора пропускают в фильтр (спуская его до уровня песка) и опять держат в фильтре сутки или двое суток. Раствор каустической соды растворяет глинозем, разрушает грязевые отложения (пленка становится мягкой) и обеспечивает вымывание их при последующей промывке.

После промывки песка раствором каустической соды и спуска воды с фильтра рекомендуется поверхность песка хорошо промыть струей воды из брандспойта (при открытой канализации), при этом песок из более низких слоев попадает наверх. Далее фильтр промывают обычным способом и вновь из брандспойта; так повторяют два-три раза.

Вначале вода, идущая в канализацию, сильно замутнена, затем после ряда промывок становится светлей и прозрачней. Известны случаи, когда еженедельная обработка поверхности песка ручными граблями приводила к устранению образовавшихся грязевых шариков, причем в остальном фильтры работали нормально.

Дополнительная верхняя промывка. В последнее время в промывку фильтров в США (отдельные проекты выполнены и в СССР) вносятся принципиальные изменения: верхние слои песка перед началом обычной промывки (движение воды снизу вверх с большой скоростью) промывают при помощи струй воды, выбрасываемых у поверхности песка из специально проложенных продырявленных труб (верхний дренаж).

Такая промывка небольшого верхнего слоя песка идет в течение 2 — 3 мин. с интенсивностью $3,5 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$. Обычная промывка принята с интенсивностью

$11,5 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$, при этом имеются указания на получение хорошего эффекта промывки и в отдельных случаях на экономию промывной воды (правда, при более сложном оборудовании). На фиг. 359 и 360 показана станция с фильтрами площадью 22,6 м² каждый и с дополнительными трубопроводами для верхней промывки.

Диаметр трубопровода для верхней промывки принят 250 мм, скорость в нем при этом равна 1,61 м/сек.

Боковые ответвления имеют расчетный расход, равный

$$\frac{22,6 \cdot 3,5}{2 \cdot 9} \approx 4,4 \text{ л/сек};$$

дома принят равным 50 мм;

$$v_{\text{дома}} = 2,1 \text{ м/сек.}$$

Распределение воды производится через особые насадки. Количество насадок здесь принято 72 с пятью отверстиями каждая; диаметр этих отверстий 8,5 мм.

Потеря напора в трубопроводе и ответвлениях для верхней промывки складывается из потерь в трубопроводе, принимаемых равными примерно 0,5 м, и потерь в отверстиях достаточно большой величины.

Так как

$$q_0 = \mu \omega_0 \sqrt{2gh_0},$$

то

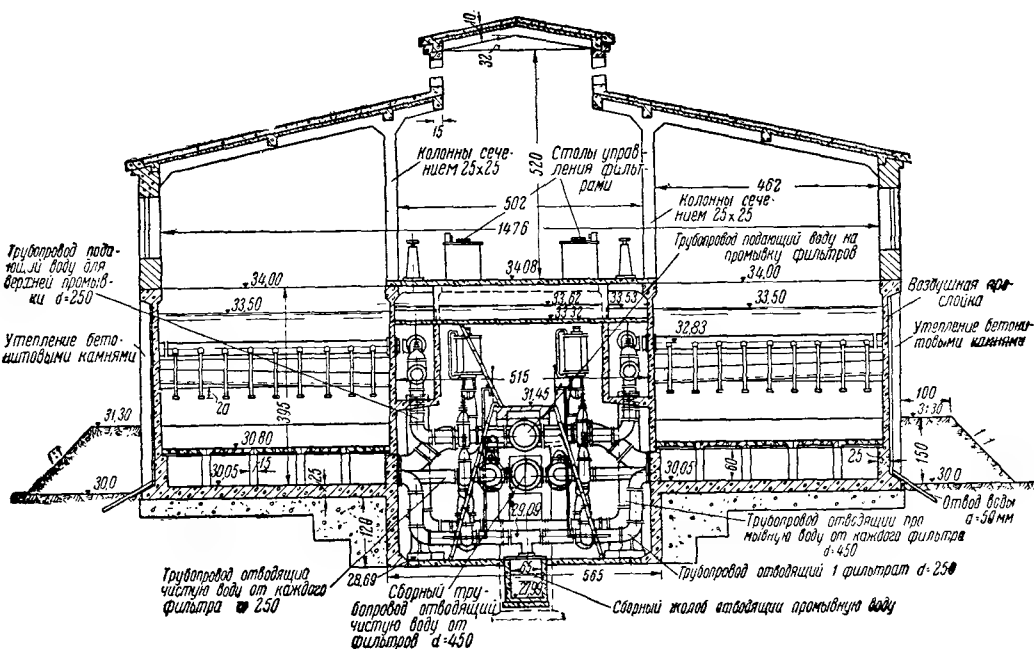
$$h_0 = \frac{q_0^2}{\mu^2 \omega_0^2 2g};$$

$$\omega_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,0085^2}{4} = 0,000057 \text{ м}^2;$$

$$q_0 = \frac{3,5 \cdot 22,6}{1000 \cdot 72 \cdot 5} = 0,00022 \text{ м}^3/\text{сек};$$

$$h_0 = \frac{0,00022^2}{0,62^2 \cdot 0,000057^2 \cdot 19,62} = 1,98 \text{ м}.$$

Суммарное сопротивление в системе верхней промывки 2,5 м. Конструкция устройства для верхней промывки может быть и иной.



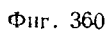
Фиг. 359

Подача воды для промывки фильтров может осуществляться различным путем:

- а) из специального резервуара, расположенного в здании фильтров на соответствующей высоте;
- б) из водонапорной башни, если последняя находится на близком расстоянии от здания фильтров;
- в) от насосов, забирающих воду из резервуара чистой воды и нагнетающих ее в дренаж фильтров.

Промывка фильтра большим количеством воды в короткий промежуток времени приводит к необходимости устройства особого резервуара (бака), наполняемого между промывками небольшим насосом или (реже) из трубопровода, идущего от насосов второго подъема. Это часто, в особенности для средних и больших станций обработки воды, экономически более целесообразно, чем установка специальных насосов большой производительности. Емкость этого резервуара определяется в зависимости от размеров фильтров, принятых интенсивности и продолжительности промывки и лишь при неболь-

Материал для баков—чаще железобетон, редко сталь (небольшие установки).



Насосы для подкачки воды в бак рассчитываются на наполнение его в течение не более 2,5 — 3 час. при четырех фильтрах, не более 1,5 часа при восьми фильтрах и т. д.

П о д а ч а воды для промывки из водонапорной башни может быть осуществлена (при близости башни) лишь в двух случаях: 1) если промывка фильтров не нарушит нормального режима водопотребления и 2) если отметки воды в башне не превышают значительно напора, необходимого для промывки фильтров.

Часто подъем воды в башню осуществляется на большую высоту, и тогда такая промывка экономически нецелесообразна. Иногда при наличии и близости естественного возвышения на нем может быть построен специальный резервуар для промывки (выносимый из здания фильтров). Это для больших станций обработки воды представляет большое преимущество.

С п е ц и а л ь н ы е насосы для промывки для средних и крупных станций требуют независимо от кратковременности их действия довольно сложного и дорогого оборудования; для небольших установок это упрощается. Насосы позволяют промывать под ряд несколько фильтров, при большом числе фильтров это является весьма важным для эксплуатации.

При слабых грунтах (пльвун), а также в сейсмических районах последний вариант может быть наиболее целесообразным. Необходимый напор для промывки следует определять как в случае установки насосов, так и для уточнения отметки дна бака.

В первом случае необходимый напор насоса складывается из:

а) геометрической разности отметок кромки переливных желобов и наинизшего уровня воды в резервуаре, из которого насос забирает воду;

б) потерь в трубопроводах и особо в фасонных частях, считая при этом по наиболее удаленному от насоса фильтру;

в) потерь в фильтре и особо в дренаже;

г) дополнительных потерь на загрязнение песка, существенно влияющих в начале промывки.

Во втором случае при использовании бака отметок дна его получится как сумма отметок кромки желобов и потерь, указанных в пп. «б», «в» и «г».

Скорость движения воды в трубах для промывки принимает-

ся до 2 — 2,5 м. Определения по пп. «а» и «б» не представляют затруднений.

Потеря напора в фильтре может быть примерно определена согласно опытам Эльмса, результаты которых приведены в табл. 14.

Из табл. 14 следует, что для скоростей промывки около 60 см/мин, или интенсивности $10 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$, потеря напора при промывке в принимаемых слоях гравия и песка рекомендуемых крупностей составит около 80 — 85 см, или кругло до 1 м. При увеличении скорости промывки до 90 см/мин, или увеличении интенсивности до $15 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$, потери напора увеличатся пропорционально квадрату отношения скоростей¹, т. е. будут равны 1,8 — 2,25 м.

Потеря напора в дренаже определяется при расчете дренажа и, наконец, дополнительные потери, учитывающие сильное загрязнение песка, можно принять равными 1 — 1,5 м. По существу последняя величина является просто некоторым резервом для возможности увеличения интенсивности или продол-

Т а б л и ц а 14

Толщина слоя гра- вия в мм	Толщина слоя песка в мм	Скорость промывки воды в см/мин	Потери напора в м	
			в гравии	в песке
354	762	60,8	0,085	0,667
457	508	60,8	0,097	0,487
457	762	60,8	0,097	0,712

Примечание. Эффективный размер песка колебался от 0,3 до 0,4 мм; коэффициент однородности 1,45.

¹ Здесь допущена погрешность в сторону увеличения потери напора, так как при движении воды в песке указанная зависимость неквадратичная.

жительности промывки, так как началу промывки (наиболее грязный песок) соответствует полный бак с отметкой воды в нем, превышающей расчетную.

Отметка дна бака обычно не превышает отметки кромки переливного желоба более чем на 6 — 8 м. В последнее время исчисление напора, потребного для промывки, стали производить, исходя не из отметки дна бака, а из среднего уровня воды в баке, так как вместе с опорожнением бака уменьшаются и потери напора в фильтре (в песке). Высоту воды в баке следует принимать не более 3,5 м.

Для промывки средних и особенно больших фильтров при необходимости устанавливать насосы большой производительности иногда целесообразно вынести их в насосную станцию второго подъема.

Отвод промывных вод. При отводе промывных вод с фильтров следует учитывать:

а) правильность расположения отверстий выпускных труб: они должны быть ниже уровня воды в сборном желобе при максимальном расходе. Отводоспособность трубы, идущей непосредственно от фильтра, должна соответствовать максимальной принятой для данного случая интенсивности; подпор в желобах не должен иметь места;

б) правильное решение схемы всей канализации (об этом сказано далее);

в) целесообразность использования в отдельных случаях промывной воды и первого фильтрата (при значительной стоимости воды, подаваемой на сооружения для обработки).

§ 27. Трубопроводы станции обработки воды

К числу трубопроводов (каналов) станции обработки воды относятся:

- 1) трубопровод, подводящий воду к смесителю (в пределах станции обработки воды) и далее к камере образования хлопьев;
- 2) трубопровод, подводящий воду к отстойникам;
- 3) трубопровод осветленной в отстойнике воды (на фильтры);
- 4) трубопровод обработанной воды (в резервуаре чистой воды);
- 5) трубопровод, подводящий воду для промывки фильтров;
- 6) трубопроводы канализации промывной воды с фильтров, канализации с отстойников, камер образования хлопьев и пр.

При проектировании трубопроводов в основном нужно считаться:

- а) с правильной гидравлической схемой, обеспечивающей удовлетворительную работу всех сооружений, обслуживаемых данным трубопроводом;
- б) с простой и удобной в эксплуатации трассировкой трубопроводов (как внутри станции, так и за пределами ее);
- в) с удобством монтажа при сборке труб, сварке фасонных частей и пр.;
- г) с экономическими соображениями, для чего должны производиться сравнения возможных вариантов по диаметрам, трассировке, материалу и пр.

Скорость в трубопроводе, подводящем воду к смесителю (часто конец напорного водовода) в пределах станции, желательно иметь порядка 1 — 1,2 м/сек. Та же скорость — в трубопроводе, ведущем воду к камере образования хлопьев.

Трубопровод (канал, лоток, желоб), подводящий воду к отстойникам, может состоять из двух участков: до распределительного устройства или колодца и от последнего к отстойникам. От камеры образования хлопьев к распределительному колодцу отстойников вода может идти закрытым трубопроводом или в открытом лотке. Последние рассчитываются на максимальную секундную производительность станции. Расчетные скорости не выше 0,6 м/сек (во избежание разрушения хлопьев коагулянта). Отвод воды с распределительного устройства (колодца) производится также либо закрытыми трубопроводами, либо лотками. Расчетные скорости примерно 0,6 м/сек. Трубопроводы должны иметь необходимые задвижки, а лотки — шиберы (затворы). Весьма существенным здесь является правильное распределение воды по отстойникам.

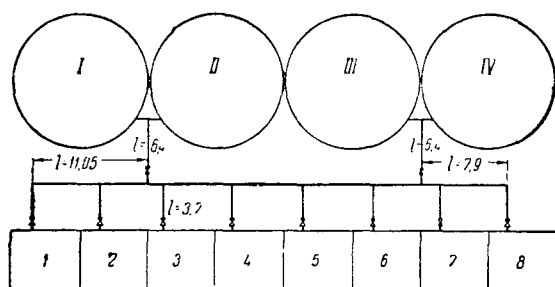
Трубопровод для коагулированной осветленной в отстойнике воды должен возможно равномерно распределять воду на отдельные фильтры. Иногда такое

распределение несколько усложняется. В расчете требуется учесть наиболее невыгодный случай работы системы, например на схеме фиг. 361 таковым является выключение отстойника I и фильтров 7 и 8. В соответствии с невыгодным случаем рассчитывается сеть указанных трубопроводов с учетом всех видов потерь (вплоть до входа в фильтр) и определением напора в фильтре или уровня воды на фильтре. Расчетная скорость примерно 1 — 1,5 м/сек.

Равномерная нагрузка работающих фильтров может в отдельных случаях потребовать регулировки задвижками на распределительной сети.

Трубопровод для чистой (обработанной) воды собирает профильтрованную воду и отводит ее в резервуар чистой воды. Трубопровод этот состоит из двух частей: одной части, идущей в здании фильтров, и другой — вне здания. Расчет этого трубопровода ведется с учетом потерь напора в регуляторе, водомере и пр. Обращается внимание, чтобы ни при каких условиях не было подпора фильтров со стороны резервуара.

Трубопровод для промывки фильтров рассчитывается в зависимости от схемы самой промывки (из бака в здании, из резервуара вне здания, от насоса). Диаметр обычно значительный; скорости до 2 — 2,5 м/сек.



Фиг. 361

Промывная вода от желобов фильтра или из лотка поступает по трубопроводу в общую канализационную трубу в здании фильтров и далее в общий трубопровод системы канализации.

Спускные трубы для выпуска воды и осадков из отстойников, камер образования хлопьев и пр. присоединяются к общей канализационной трубе, идущей вне здания.

Рассчитывая трубопровод для спуска воды из отстойника, следует еще определить время опорожнения, средний расход и скорость в 1 сек. Если эти величины очень большие по сравнению с намеченной отводоспособностью, то такой спуск может быть произведен при неполном открытии задвижки, т. е. время опорожнения должно быть увеличено. Иногда может быть полезным устройство песколовки для задержки песка, уносимого с фильтров промывной водой (особенно это существенно для глауконитовых фильтров).

Запроектированные трубопроводы по заданным или обычно принимаемым скоростям и имеющимся расходам подлежат гидравлическому расчету, ведущемуся обычными методами. Не останавливаясь здесь на технике расчета, следует указать, что нужно иметь подробную схему каждого трубопровода, так как при относительно небольших длинах трубопроводы станции обработки воды включают значительное количество фасонных частей и задвижек. Потеря напора на местные сопротивления составляет здесь по отношению к общей потере напора значительную величину.

Ввиду отсутствия в большинстве трубопроводов станции обработки воды значительных давлений целесообразно применять, где это возможно, железобетонные, а в некоторых случаях даже и деревянные лотки. Задвижки на трубопроводах следует ставить облегченного типа, а в лотках устанавливать легкие щиты — затворы.

Кроме указанных основных трубопроводов на станции имеется большое количество трубопроводов для растворов реагентов и пр.

§ 28. Соединения трубопроводов с фильтрами

В соответствии с режимом работы (филтрация, промывка, спуск первого фильтрата и т. д.) фильтры должны быть соединены с тем или иным трубопроводом или каналом, выполненными различно в зависимости от назначения, кон-

струкции материала их, с фасонными частями, переключающими задвижками, шиберами, донными клапанами и пр. Всю совокупность указанных элементов, обеспечивающих удобство монтажа и производства работ по ремонту, а самое главное управление фильтром при переключении его с рабочего состояния на промывку и обратно и т. д. называют узлом фильтра; последний представляет собой весьма важный элемент в проектировании.

Соединения трубопроводов с фильтрами выполняются различно в зависимости от конструкции и размеров фильтра, конструкции дренажа и пр.

Существующие системы узлов фильтров обычно не имеют самостоятельного ввода в фильтр всех труб, да в этом нет и необходимости, так как расположение некоторых из них позволяет осуществлять комбинированные вводы и объединять их вне фильтра. Например, трубопровод фильтрованной воды и первого фильтрата (и для опорожнения) могут быть присоединены к трубопроводу промывной воды с установкой соответствующих задвижек. Схема эта показана на фиг. 362. Практически указанная схема находит большое применение.

Трубопровод для опорожнения фильтра предусматривается самостоятельно или объединяется с трубопроводом, отводящим первый фильтрат.

Возможно также объединение в один ввод с разграничением задвижками вне фильтра трубопроводов для первого фильтрата, фильтрованной воды и опорожнения фильтра.

Фильтры с центральным каналом. Подвод воды с отстойников производится общим для всех фильтров железобетонным лотком 1, конструктивно выполненным монолитно с передней стенкой фильтров (фиг. 363).

Стремясь к сокращению ширины жолоба за счет его высоты, размеры жолоба принимают в соответствии с заданными расходом и скоростями примерно в соотношении 1 : 2 — 1 : 2,5.

Напуск воды на фильтр производится открытием задвижки 2, введенной в центральный канал. Канал перегороден на отметке, близкой к верху дощатого дренажа.

В нижнее пространство 3 напускается промывная вода, распределяемая по обеим сторонам фильтра трубами, относящимися к дренажной системе и уложенными под дощатым дренажем.

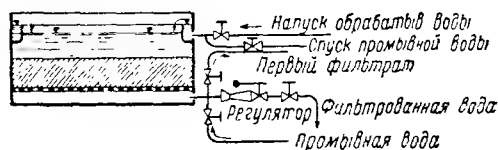
Отвод промывной воды производится при открытии задвижки 4. Вода из центрального канала попадает в изогнутый лоток 5, соединяющийся с каналом грязной воды 6. Фильтрованная вода отводится в канал чистой воды 7. Опорожнение фильтра насухо осуществляется трубой 8.

Как это следует из описанного, камера в передней стенке фильтра заменяет обычное соединение с использованием фасонных частей.

Другой тип узла фильтра с центральным каналом представлен на фиг. 364 и 365. Наполнение фильтров производится открытием шиберов; отвод грязной промывной воды в каналы грязной воды осуществляется при помощи труб. Трубопровод для опорожнения фильтра уложен у дна.

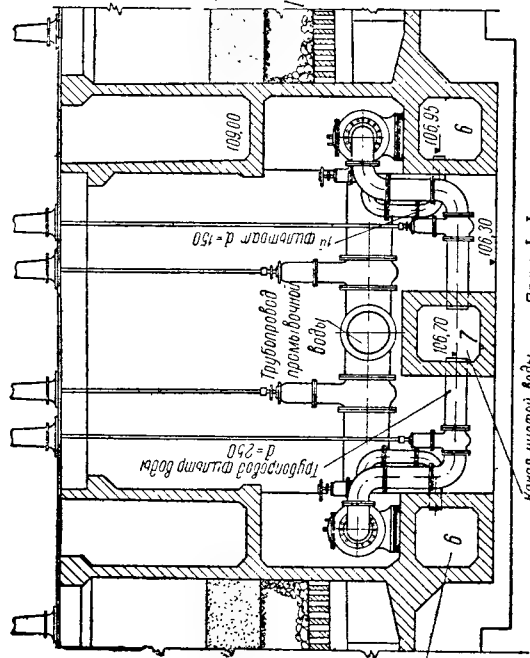
Фильтры с боковым карманом. Напуск воды на фильтры производится лотком, расположенным центрально, или трубопроводом, подводимым воду в боковой карман фильтра, с которым сообщаются распределительные желоба.

Промывная вода подается в междудонное пространство и распределяется дырчатыми трубами. Отвод промывной воды из бокового кармана производится трубопроводом или лотком в общий канал для стока, закрываемый донным клапаном. Фильтры с боковым карманом применяются главным образом в небольших установках. На фиг. 366 и 367 показана компоновка всей станции обработки воды, оборудованной фильтрами этого типа.

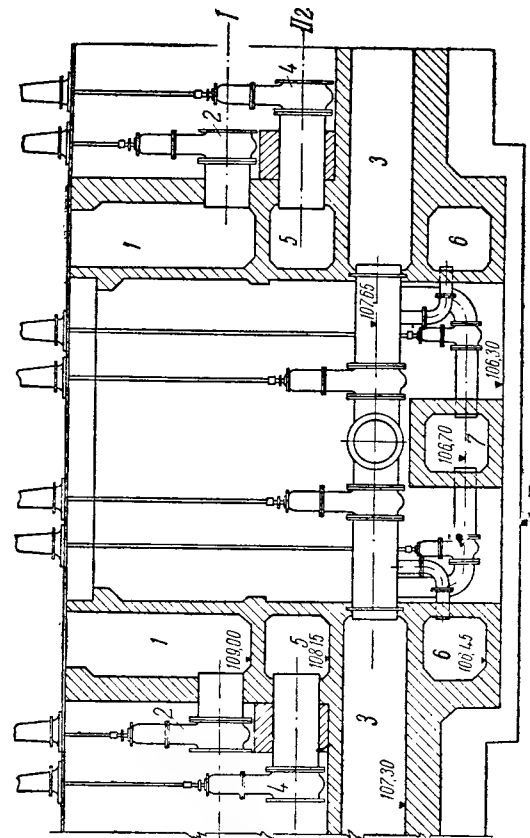


Фиг. 362

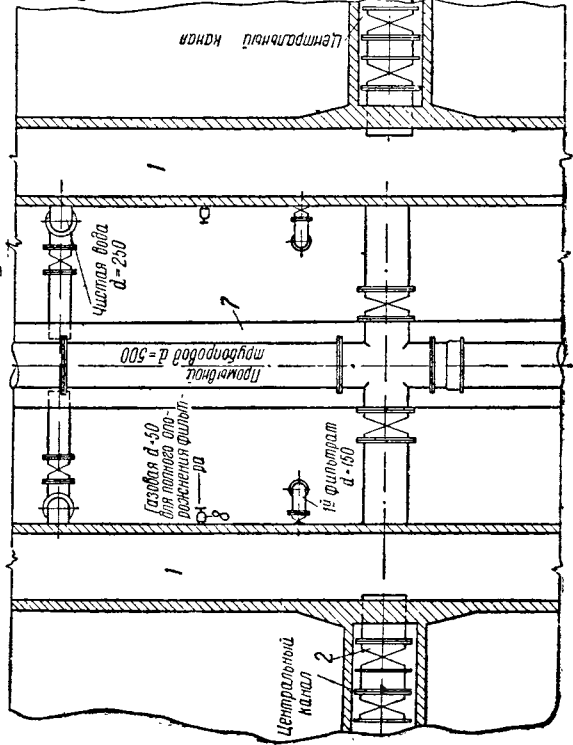
Разрез А-В



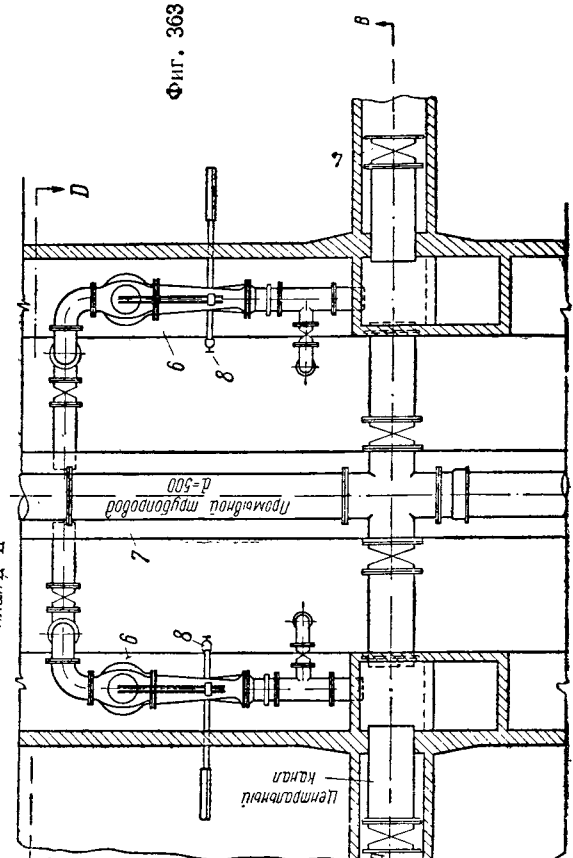
Разрез В-Г



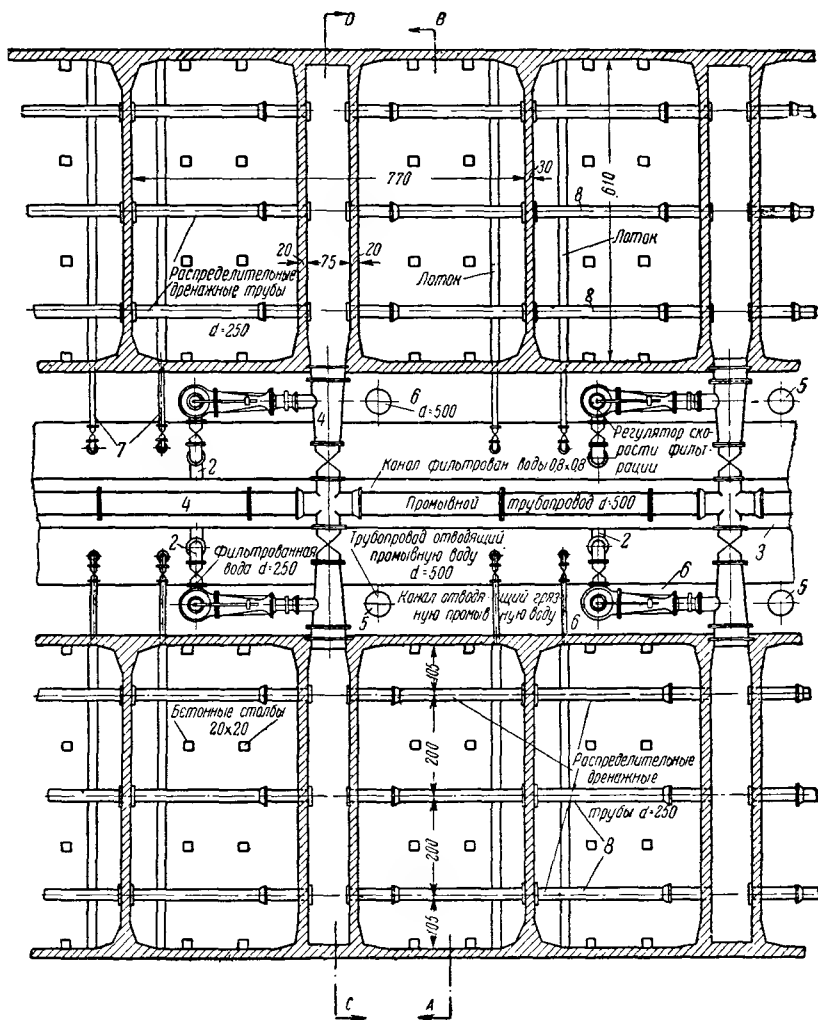
План I-I



План II-II



Несимметричное расположение трубопровода, подводящего отстоенную воду, объясняется возможностью будущего расширения станции при развитии очистных сооружений (второй трубопровод будет уложен рядом). Регуляторы скорости фильтрации выполнены в виде дроссельных клапанов, связанных с поплавками.



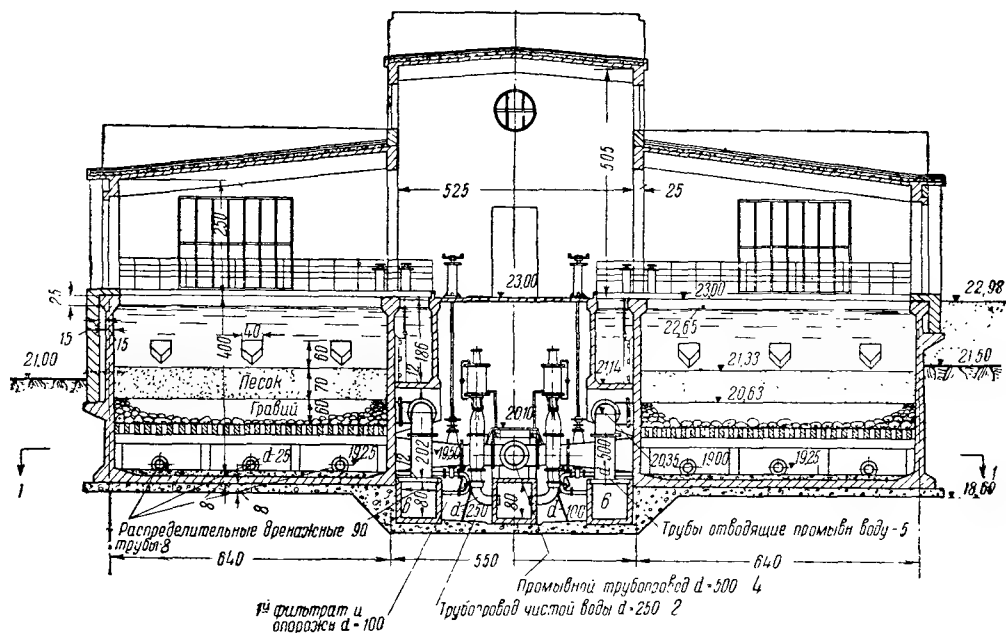
Фиг. 364

Фильтры с дренажем большого сопротивления. Пример одного из таких решений представлен на фиг. 368 и 369. Конструкция показанного узла имеет недостаток, заключающийся в несимметричном подводе воды на фильтры (вода подводится в крайний жолоб, что влечет за собой возможность неравномерного распределения ее по фильтру). При проектировании следует стремиться к симметричному более равномерному распределению отстойной воды.

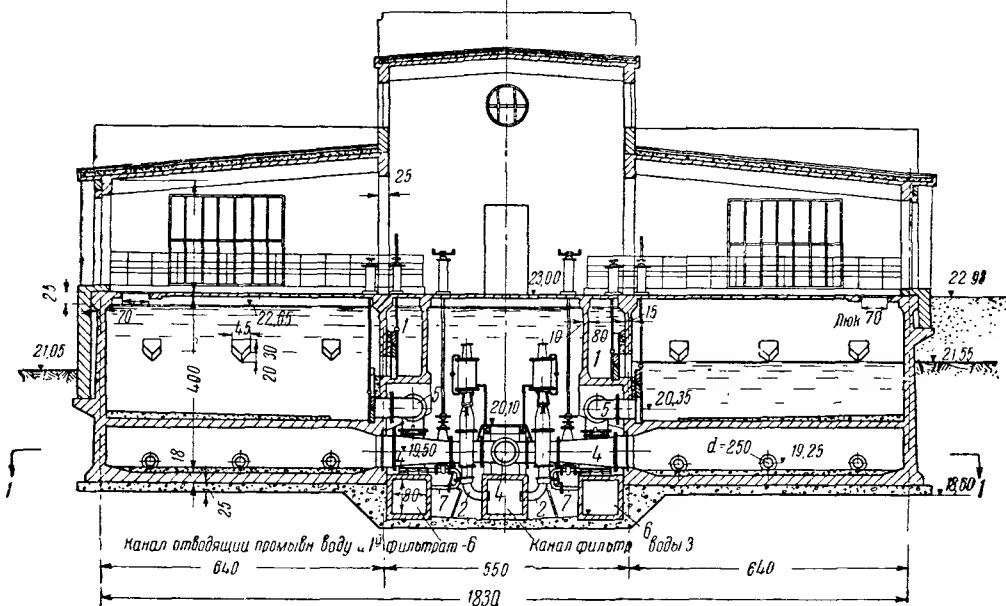
Как это следует из фиг. 369, в отдельных случаях применяют одностороннее расположение фильтров по отношению к галлерее. Такая схема не всегда может быть признана экономически целесообразной, так как ширина галлерей мало

изменяется по сравнению с таковой при двустороннем расположении фильтров, длина же будет вдвое большей. Вопрос о расположении фильтров и галлерей должен решаться в общей схеме компоновки.

Разрез по Д-В



Разрез по С-Д



Фиг. 365

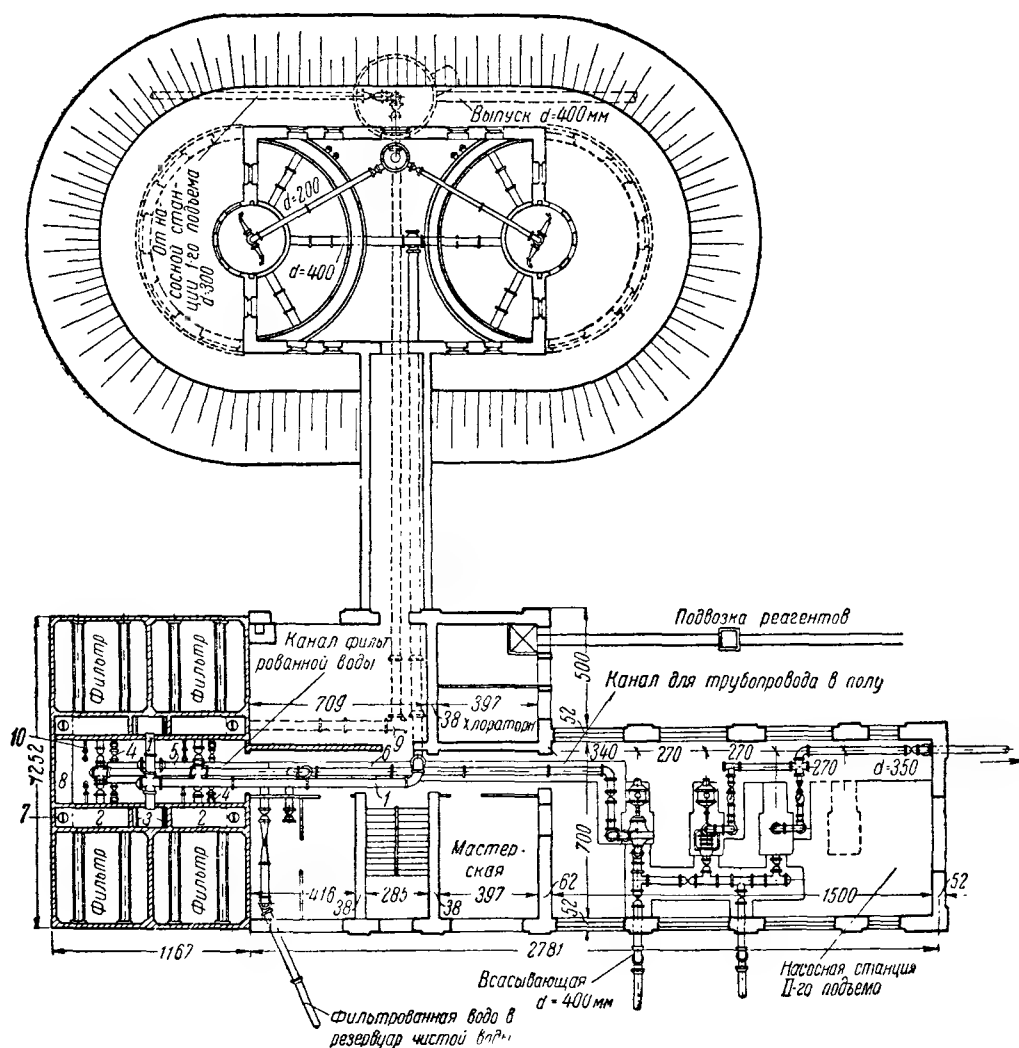
§ 29. Приборы станции обработки воды и элементы центрального и дистанционного управления и автоматизации

А. ПРИБОРЫ

К числу приборов, использование которых на станции обработки воды обязательно, относятся:

1) водомеры, устанавливаемые на трубопроводах: подводящем необработанную воду, отводящем обработанную воду с фильтров и подводящем промывную воду;

2) регуляторы скорости фильтрации, устанавливаемые у каждого фильтра (изменение скорости фильтрации всех фильтров могло бы производиться автоматически в зависимости от изменения уровня воды в резервуаре фильтрованной воды, но этого делать не следует). Необходимость регулирования количества



Фиг. 366

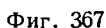
воды, идущей для промывки фильтров, как уже указывалось, вызывает иногда установку особых клапанов (регуляторы интенсивности промывки); последние устанавливаются на напорных фильтрах. Промывая фильтры из бака под определенным напором, можно регулировать интенсивность соответствующим открытием задвижек, однако, такое регулирование недостаточно надежно;

3) указатели потери напора в фильтре; эти приборы конструктивно оформляются различно; простейший тип — пьезометрические трубки;

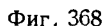
4) приборы, сигнализирующие уровни воды в резервуаре обработанной воды, в резервуаре для промывки и в других; сюда относятся приборы системы Трегера и аналогичные.

5) указатели скорости фильтрации;

профильтрованной воды.



На станции обработки воды необходим прибор для определения мутности—мутномер, весьма нужный для правильной эксплуатации отстойников и фильтров;

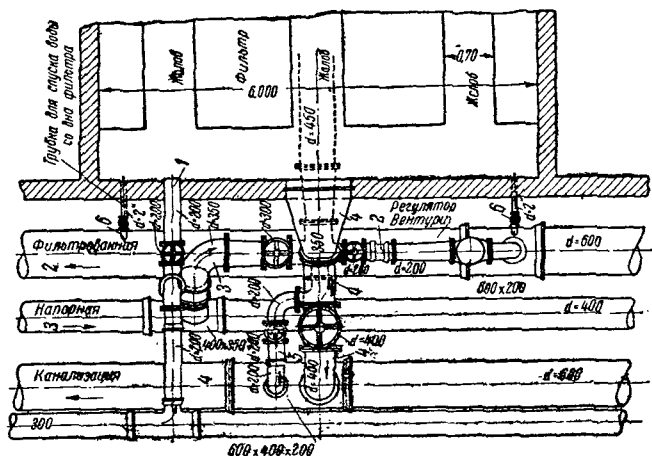


дуемым образцом воды; над цилиндрами устроено два смотровых отверстия 5.

Вращающийся деревянный диск *б*—оправа с набором из круглых стекол различной мутности (дающих тот же тон и интенсивность, что и жидкие эталоны мутности) устанавливается над цилиндром с дистиллированной водой, мутность которой принимается равной нулю, а над цилиндром с исследуемой мутной водой устанавливается неподвижное прозрачное стекло. Вращая диск, подбирают стекло той же мутности, что и в цилиндре с исследуемым образцом воды. На шкале диска указана величина мутности воды в миллиграммах на литр.

Если вода обладает цветностью, то на цилиндр с дистиллированной водой накладывается дополнительно цветное (желтое) стекло, подбираемое в зависимости от интенсивности окраски воды.

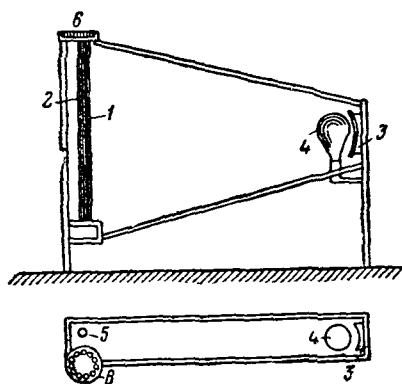
Вода для питьевых целей должна быть совершенно прозрачной.



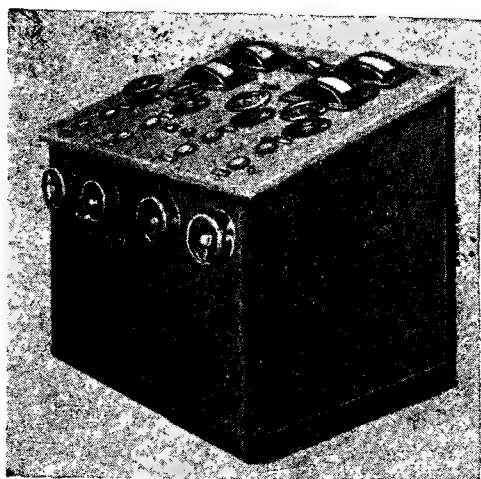
Фиг. 369

Б. УПРАВЛЕНИЕ ФИЛЬТРАМИ

В ряде случаев при ручном управлении период работы фильтров несколько уменьшается, а потеря промывной воды увеличивается. Заграничная практика дает уже много примеров дистанционного управления фильтрами. В СССР ра-



Фиг. 370



Фиг. 371

ботает несколько станций обработки воды с дистанционным управлением фильтрами с пультов, из которых каждый обслуживает два фильтра. Самое обслуживание при этом упрощается.

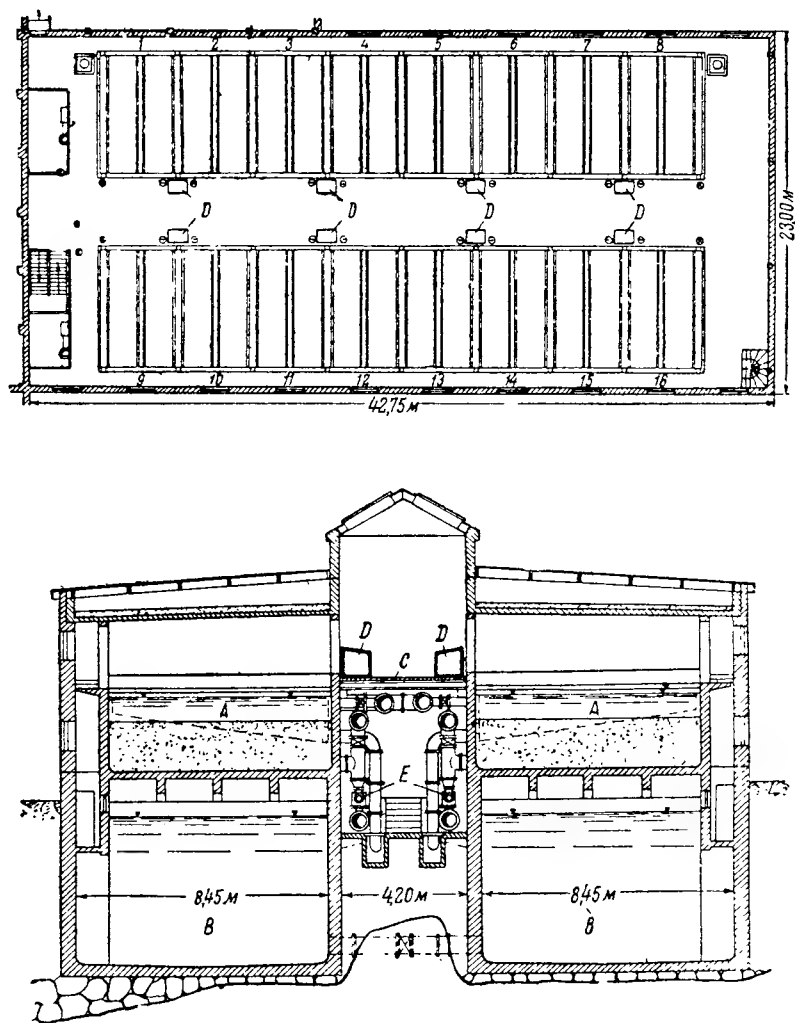
На фиг. 371 показан один из пультов управления.

На наклонной верхней плоскости пульта управления обычно размещаются: 1) маховички для управления гидравлическими задвижками, соединенные

при помощи штанг с четырехходовыми кранами (пять задвижек на каждый фильтр);

2) сигнальные лампы, указывающие крайние положения задвижек (открыта, закрыта);

3) выпуклые шкалы приборов, указывающих производительность фильтра в кубометрах в час, потерю напора в фильтре в метрах и давление в трубопро-



Фиг. 372. Станция обработки воды с пультами управления
 А—фильтры; В—резервуар чистой воды; С—площадка управления; D—пульты;
 E—регуляторы скорости фильтров

воде для промывки фильтров. Приборы эти соединены с «передатчиками», дающими соответствующие импульсы не только на пульт, но и к регистрирующим приборам, установленным на общем щите;

4) кнопки дистанционного управления насосами для промывки фильтров;

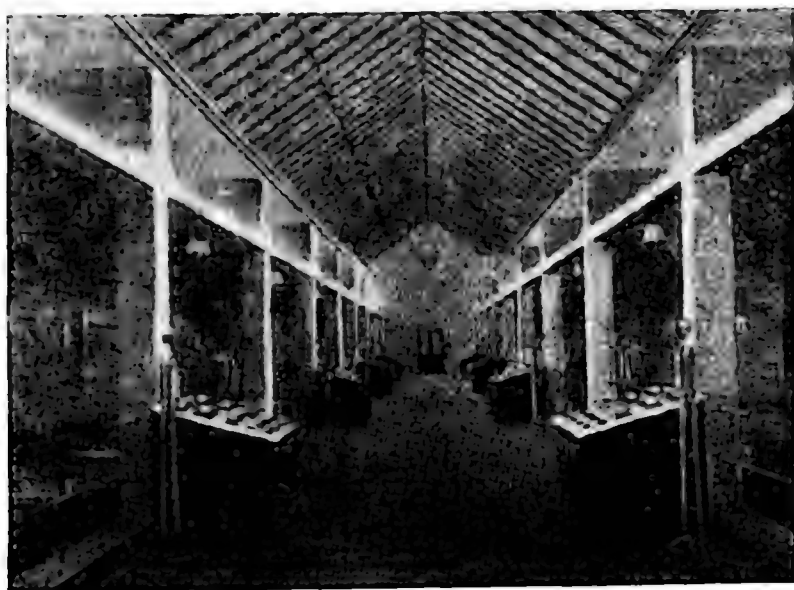
5) выключатели для управления небольшими электронасосами (производительность 5 — 6 л/мин), смонтированными на особых колонках для подкачки небольших количеств профильтрованной воды. При контроле качества воды включается такой насос; фильтрованная вода проходит через стеклянные трубки у пульта и сравнивается с чистой водой в установленном рядом стеклянном цилиндре; здесь же может быть взята проба воды;

6) общий выключатель для сигнальных ламп.

Управление работой фильтров очень простое; все необходимые операции по открытию и закрытию задвижек, включению и остановке насосов для промывки происходят у пульта; здесь же, как указано, может происходить и контроль качества воды.

На фиг. 372 показаны план и разрез станции обработки воды с пультами управления фильтрами и на фиг. 373 — внутренний вид этой станции.

На некоторых станциях обработки воды изменения производительности фильтров, требующие перемещения груза на рычаге регулятора скорости фильтрации, также выполняются дистанционно: путем нажатия соответствующих кнопок включается мотор, перемещающий этот груз, в результате чего изменяется открытие клапанов регулятора, т. е. производительность фильтра.



Фиг. 373

§ 30. Некоторые конструкции открытых кварцевых фильтров

На жел.-дор. транспорте на небольших установках металлические фильтры могут найти значительное применение, поэтому на описании конструкции и работы этих фильтров следует остановиться подробнее.

Представленный на фиг. 331 открытый металлический фильтр для фильтрации воды через кварцевый песок состоит из следующих частей:

- а) стального корпуса;
- б) дренажа, выполненного в виде коллектора с присоединенными к нему ответвлениями с просверленными в них 4-мм отверстиями;
- в) кольцевого жолоба и поперечных, служащих для распределения по поверхности песка поступающей воды и отведения с фильтра промывной воды;
- г) пяти задвижек с соответствующими фасонными частями, служащими для выполнения необходимых переключений; задвижки находятся на трубопроводах: подводящем воду на фильтр, отводящем осветленную воду, подводящем воду для промывки, отводящем грязную воду после промывки и отводящем первый фильтрат (установкой соответствующих фасонных частей число трубопроводов уменьшено);
- д) дроссельного клапана, установленного на трубопроводе, отводящем осветленную воду и связанного с поплавком на поверхности воды в фильтре;
- е) переливной трубы, предусмотренной на случай переполнения фильтра;

ж) приборов, как то: манометров или пьезометрических трубок, служащих для определения потери напора в фильтре;

з) загрузки фильтра фильтрующим материалом и поддерживающими слоями кварца, представляющимися в следующем рекомендуемом Главэнергопромом виде (табл. 15).

При обработке воды для питьевых нужд можно рекомендовать песок эффективной величиной 0,35 — 0,45 мм с коэффициентом однородности 1,6. Загрузоч-

Таблица 15

Слои загрузки	Размер зерен в мм	Высота слоя в мм
Кварц	0,5—1	700
»	1—2,5	50
»	2,5—5	100
»	5—10	150
»	10—20	200

ные слои можно рекомендовать в соответствии с данными, уже указанными выше. Расстояние от кромки переливных желобов до поверхности песка принято равным 600 мм.

В табл. 16 даны габаритные размеры рассматриваемых фильтров, показанных на фиг. 331.

Описанные фильтры могут применяться при осветлении воды для питьевых и производственных целей, также на станциях умягчения после предварительной об-

работки воды глауконитовыми фильтрами и пр. Эти же фильтры могут быть загружены не кварцевым песком, а мраморной крошкой. В последнем случае они могут устанавливаться для фильтрации воды, предварительно обработанной известью. При фильтрации воды через мраморную крошку помимо обычного осветления происходит дополнительное выделение небольших количеств содержащегося в воде (пересыщенный раствор) CaCO_3 ; в результате

Таблица 16

№ фильтров	Производительность фильтров в м³/ч	Основные габаритные размеры			d — трубы для спуска 1-го фильтрата в мм	d — трубы для подвода воды в мм	d — трубы для отвода и подвода промывной воды и коллектора в мм	d — ответвления в мм	Промывка				Сечение сливного желоба в м²	Вес металлических частей фильтра в т	Вес загрузки в т	Полный нагрузочный вес фильтра с оборудованием, загрузкой и водой в т
		D в мм (диаметр фильтра)	F в м² (площадь фильтра)	H в мм (высота фильтра)					Расход промывной воды в м³	Количество дренажных отверстий на 1 м²	Сопроотивление фильтра при интенсивности промывки 10 сек в м²	Сечение сливного желоба в м²				
1	50	3 680	10,7	3 850	150	200	250	50	39,0	181	4,0	0,06	4,4	25,6		65,0
2	75	4 350	15,0	3 850	150	200	300	50	55,0	168	4,5	0,07	5,65	36,0		91,0
3	110	5 350	22,4	3 850	200	250	350	65	80,0	169	4,5	0,08	7,85	54,0		135

обработанная таким образом вода имеет меньшую остаточную жесткость. При использовании мраморной крошки исключается возможность обогащения умягченной воды кремнекислыми солями, что иногда может иметь место при фильтрации через кварц; поэтому в ряде случаев для загрузки фильтров рекомендуется применять мраморную крошку предпочтительно перед кварцевым песком.

Работа фильтра складывается из процесса фильтрации, промывки и спуска первого фильтрата.

При фильтрации открывается задвижка на трубопроводе, подводящем воду на фильтр и отводящем ее с фильтра; остальные задвижки закрыты. Скорость

фильтрации 5 м/ч и может быть увеличена до 6 м/ч. Межпромывочный период или период действия фильтра зависит от свойств воды, поступающей на фильтр, и характера и качества ее предварительной обработки (коагуляция, отстаивание, обработка известью и отстаивание, обработка известью и содой и отстаивание и т. д.).

Промывка осветленной водой обычно предусматривается от насоса или из бака, расположенного на высоте 6 — 8 м над кромкой переливного желоба.

Интенсивность промывки $10 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$. Потеря напора у загрязненного фильтра перед промывкой около 2,5 — 3 м.

Перед промывкой закрывают задвижку со стороны подвода воды на фильтр, прекращают поступление ее с отстойника и дают остающейся в фильтре воде опуститься до желобов; далее закрывают задвижку на трубопроводе, отводящем чистую воду с фильтра, постепенно открывают задвижку на трубопроводе промывной воды и задвижку на трубопроводе, отводящем промывную воду. Таким образом, во время промывки открыты две задвижки, остальные закрыты. Средняя продолжительность промывки около 5 мин.

При использовании описываемых кварцевых фильтров на станциях умягчения воды значительной производительности, при осветлении на них воды, обрабатываемой известково-содовым методом, или предварительном (после извести) осветлении воды, обрабатываемой далее цеолитовым методом, промывные воды и первый фильтрат (если таковой спускается) могут быть собраны в отдельном резервуаре; далее насосом они перекачиваются в смеситель отстойника. Помимо существенной экономии воды введение в отстойник осадков, содержащих карбонаты, может создать лучшие условия для процессов осаждения.

После промывки фильтра открывают задвижку на трубопроводе, подводящем воду на фильтр, и на трубопроводе для спуска первого фильтрата, остальные три задвижки закрыты. Спуск первого фильтрата с повышенным содержанием мути производится при неполной скорости фильтрации в течение промежутка от 1 до 15 мин. в зависимости от степени мутности фильтрата, назначения осветляемой воды, последующей обработки, если таковая предусмотрена, и т. д. Далее задвижки вновь переключают, вода фильтруется и поступает в резервуар осветленной воды.

Имеются указания о целесообразности периодической промывки песка при его почернении (загрязнении железом, марганцем) серной или соляной кислотой.

§ 31. Напорные кварцевые фильтры

Особое место среди кварцевых фильтров занимают напорные фильтры, — это закрытые фильтры, работающие под давлением, построенные в виде стальных вертикальных резервуаров для меньших производительностей и горизонтальных резервуаров для больших производительностей. Детали напорных фильтров в большинстве те же, что и у открытых фильтров.

В ряде случаев вместо предварительного осветления коагулированной воды в отстойниках процессы коагуляции ведут непосредственно в фильтре, где благодаря контактному действию песка реакция идет весьма быстро.

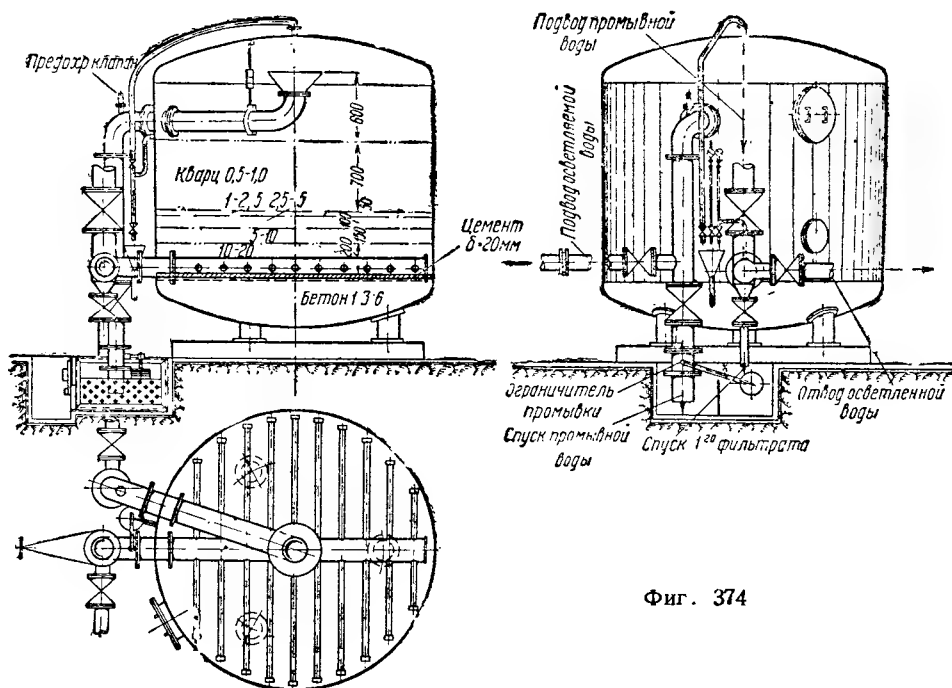
Вместо обычно применяющихся сульфата алюминия и железа в указанных установках оказалось пригодным хлорное железо, обуславливающее сокращение времени реакции, а равно и некоторое уменьшение доз. В ряде случаев вместо кислого сульфата алюминия применен щелочной алюминат натрия, давший хорошие хлопья.

В случае необходимости осуществить предварительное отстаивание воды ряд преимуществ напорных фильтров теряется, так как одним из этих преимуществ является экономия за счет уменьшения расходов по подъему воды. В последнем случае экономия может быть достигнута при непосредственной подаче воды в водонапорную башню и сеть через фильтр (без последующего подъема насосами после фильтра).

Для питьевого водоснабжения напорные фильтры могут быть установлены на ответвлениях от водонапорной башни, питающей нефильтрованной водой

паровозы или цехи промышленных предприятий. Напорные фильтры целесообразно использовать при резко выраженном рельефе, когда вода к ним может подойти со значительным давлением, обусловленным разностью отметок, причем напор может оказаться достаточным и для питания сети после фильтра. Наконец, напорные кварцевые фильтры могут устанавливаться совместно с напорными цеолитовыми фильтрами на станциях умягчения воды.

Общим недостатком напорных фильтров является невозможность непосредственно наблюдать за их состоянием (главным образом за состоянием песка), т. е. более сложная эксплуатация по сравнению с открытыми фильтрами. Большим преимуществом их, кроме указанного выше, является возможность их промышленного изготовления. Следует иметь в виду, что в отдельных случаях при сильных изменениях противодействия (изменение режима работы сети)



Фиг. 374

работа напорных фильтров может протекать в ненормальных условиях; в таких случаях, решая общую схему, необходимо, например, предусмотреть резервуар для выравнивания режима работы сети и т. д.

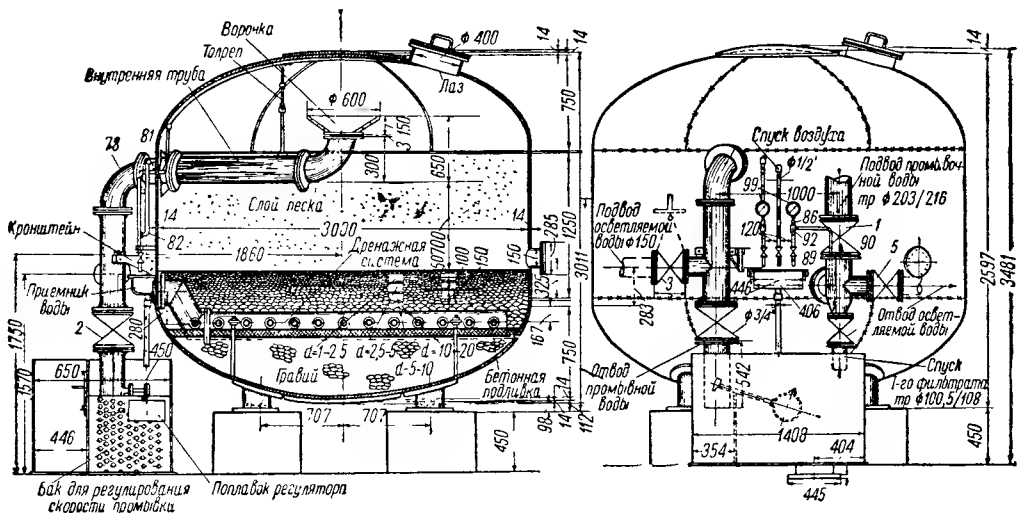
На фиг. 374 представлен напорный кварцевый фильтр (проект стандарт Главэнергопрома). Фильтр состоит из стального цилиндрического корпуса с приваренными днищами; горизонтально расположенной дренажной системы — коллектора с ответвлениями, имеющими 4-мм отверстия, просверленные под углом в 45° ; пяти задвижек и соответствующих фасонных частей, позволяющих осуществлять необходимые переключения; трубы, подающей воду на фильтр, отводящей промывную воду с фильтра и заканчивающейся внутри фильтра воронкой; ограничителя интенсивности промывки типа дроссельного клапана, предупреждающего вынос песка при промывке фильтра; лаза сверху и люка внизу, служащих для загрузки и периодического осмотра фильтра и для промывки кварца при монтаже фильтра; приборов, как то: манометров для наблюдения за потерей напора в фильтрах, предохранительного клапана, контролирующего повышение давления в фильтре, водомера, воздушной трубки для отвода воздуха из фильтра и т. д.; загрузки фильтра аналогично изложенному выше для открытых кварцевых фильтров. (Здесь можно рекомендовать несколько увеличить толщину загрузки, прибавив гравия размером 20 — 40 мм.)

Таблица 17

№ фильтров		Производительность филь- тров в м³/ч		Основные габаритные размеры						Промывка			Сопротивление фильтра при интенсивности 10 $\frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$		Вес металлических частей фильтра в т		Вес загрузки в т		Нагрузочный вес с водой, загрузкой и бстоном в т	
				D в мм (диаметр филь- тра)	F в м² (площадь филь- тра)	H в мм (высота фильт- ра)	d — трубы для подвода и отвода воды в мм	d — трубы для отвода и подвода промывной воды в мм	d — трубы для первого фильтра в мм	d — ответвления в мм	Расход промывной воды в м³		Расход промывной воды в м³/сек	Количество дренажных отверстий d=4 мм на 1 м²						
1	5	1340	1,4	2500	76	100	76	37	300	5,1	0,014	227	3	0,96	3,39	7,5				
2	10	1675	2,2	2650	100	125	76	37	350	8,0	0,022	211	3,5	1,22	5,3	12,0				
3	15	2000	3,1	2750	100	150	76	37	400	11,3	0,031	201	3,5	1,6	7,56	17,0				
4	20	2340	4,3	2900	125	200	100	37	450	15,5	0,043	218	3,5	2,07	10,4	23,5				
5	25	2675	5,6	3000	150	200	125	50	550	20,0	0,056	223	3	2,76	13,45	30,0				
6	35	3000	7,07	3150	150	200	125	50	600	25,3	0,0707	181	4	3,35	17,0	40,0				

Нижнее днище фильтра залито бетоном со слоем цемента сверху: фронт фильтра может иметь и несколько иное исполнение. Обычное рабочее давление 1,5 атм. Основные размеры фильтра и некоторые параметры их работы приведены в табл. 17.

На фиг. 375 представлена одна из конструкций напорного фильтра для повышенного давления с эллиптическим днищем.



Фиг. 375

Подготовка фильтра к эксплуатации. Во избежание трудно устранимых неполадок в работе напорного фильтра подготовка к эксплуатации должна производиться особо тщательно:

- 1) фильтр после монтажа перед загрузкой должен быть осмотрен внутри и испытан на гидравлическое давление, равное 1,5 рабочего давления, при этом особое внимание обращается на герметичность закрытия всех задвижек и кранов;
- 2) проверяется горизонтальность дренажной системы и отсутствие закупорки отверстий дренажа после заливки днища бетоном;

3) после осмотра фильтра через верхний лаз производится загрузка его гравием и далее песком принятых размеров послойно с промывкой от примесей и разравниванием каждого загруженного слоя; при промывке грязная вода выпускается через нижний люк; проверка правильности укладки связана с установкой лестниц (обязательно на деревянные доски) и спуском рабочего внутрь фильтра (перемещающегося в последнем также по доскам);

4) в отдельных случаях верхний слой песка, загрязненный мелкими илистыми и прочими частицами, после предварительной промывки снимается вручную;

5) производится регулирование регулятора интенсивности промывки в соответствии с интенсивностью, намеченной в эксплуатации ($10 - 12 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$);

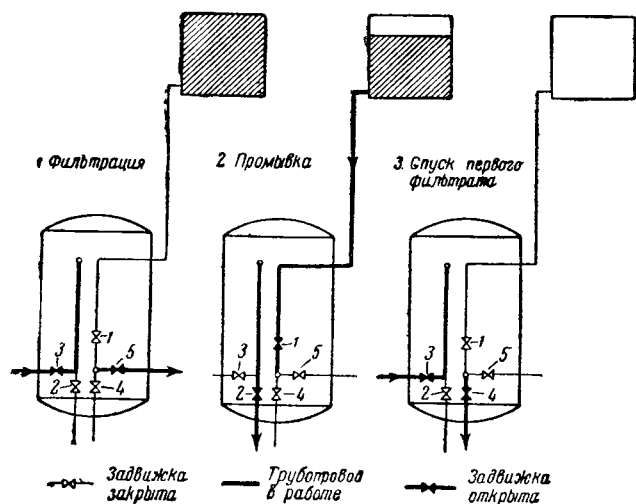
6) при использовании фильтров на станциях умягчения при обработке воды с предварительным подогревом производится также предварительное лабора-

торное испытание кварца на устойчивость его в смысле выноса кремнекислоты.

Внутренние осмотры фильтра при отсутствии особых показателей ненормальности работы производятся примерно раз в год; выясняется состояние фильтрующего материала, проверяется высота слоя его и, если это необходимо, фильтр догружается.

Работа напорного кварцевого фильтра складывается из периода фильтрации, промывки и спуска первого фильтрата.

Распределение воды, поступающей на фильтр, и сбор промывной воды производятся не желобами, как у описанных открытых фильтров, а воронкой.



Фиг. 376

1—задвижка со стороны промывки; 2—завдвижка в канализацию; 3—завдвижка со стороны подвода воды на фильтр; 4—завдвижка со стороны первого фильтрата; 5—завдвижка для провода чистой воды

Схемы переключений задвижек для различных периодов работы представлены на фиг. 376.

Для напорных кварцевых фильтров в отношении использования промывных вод остаются те же соображения, что и для открытых фильтров. На крупных станциях умягчения расход воды на промывку кварцевых фильтров, спуск первого фильтрата и пр. достигал 6 — 7%, причем для предварительной подготовки воды расходовались известь, коагулянт, тепло (предварительный подогрев воды), обходившиеся в десятки тысяч рублей в год, а потому здесь особо рекомендуется использование промывных вод.

На фиг. 377 представлены схемы работы станции с использованием промывных вод.

На фиг. 378 представлен напорный кварцевый фильтр (проект стандарта Главэнергопрома) для фильтрации воды с большим содержанием взвешенных и органических веществ через два последовательно расположенных слоя песка. Он оборудован соответствующим дренажем, трубами с воронками в каждой камере, фасонными частями, задвижками, ограничителем интенсивности промывки, приборами и пр.

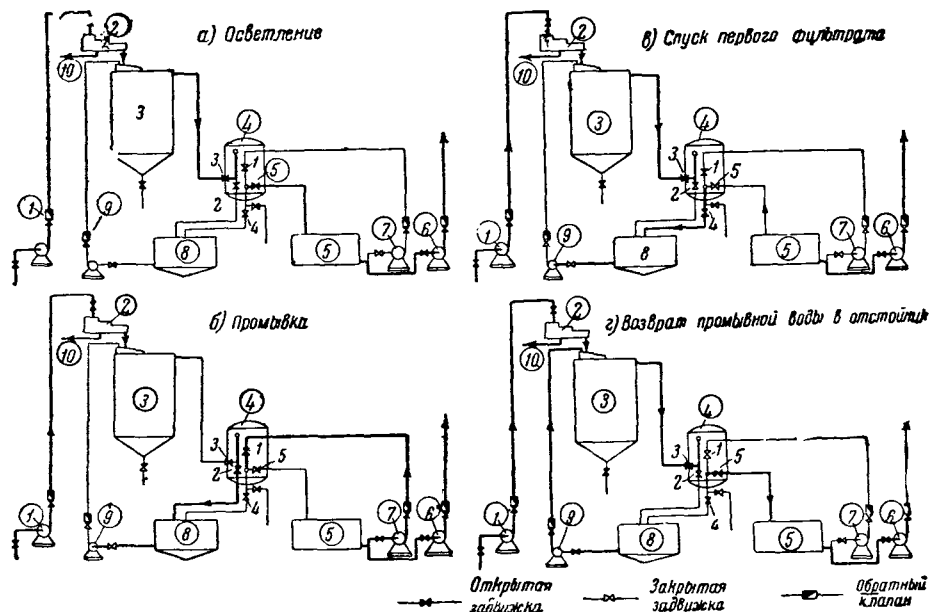
Загрузка. Поддерживающие слои в каждой камере крупностью и высотой, как и в однослойном фильтре; песок в нижней камере высотой слоя 600 мм, в верхней — 1 200 мм.

Работа фильтра. Вода подается в верхнюю камеру, проходит верхний фильтрующий слой, через отверстия в колпачках попадает в нижнюю камеру и далее отводится через дренаж. Скорость фильтрации до 5 м/ч.

При появлении в воде над песком в нижней камере опалесценции фильтр промывается, интенсивность промывки $10 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$.

Проектом стандарта предусматриваются фильтры на рабочее давление 1,5, 4 и 6 ат изб. Достаточных данных по эксплуатации фильтра не имеется.

Горизонтальные напорные фильтры. На станциях значительной производительности в редких случаях устанавливаются горизонтальные напорные фильтры. На фиг. 379 представлена станция для осветления 20 000 м³ воды в сутки и умягчения 40% этого количества — 8 000 м³ в сутки. Пять горизонтальных напорных кварцевых фильтров диаметром 3 м и длиной 9 м расположены в левом крыле станции (о фильтрах



Фиг. 377

1—насос; 2—смеситель; 3—отстойник; 4—фильтр; 5—резервуар чистой воды; 6—насос для нагнетания в сеть; 7—насос для промывки; 8—резервуар для сбора промывной воды; 9—насосная установка для отработанной промывной воды, 10—отвод воды

для умягчения — далее), ширина фильтрующей площади каждого фильтра 2,9 м, площадь фильтрации 26 м². Скорость фильтрации 7 м/ч, при промывке одного фильтра — соответственно увеличивается.

Дренаж трубчатый. Диаметр магистрали 200 мм, $v = 2,61 \text{ м/сек}$. Интенсивность промывки — $12,5 \frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$.

Коагулянт алюминат натрия вводится в напорную линию перед фильтрами лишь во время паводков. Отстаивание здесь не предусматривается. Вода поступает на каждый фильтр в двух точках и при помощи открытого жолоба распределяется по фильтрующей поверхности. Фильтры оборудованы задвижками, приборами и пр., сосредоточенными в одном месте и позволяющими управлять работой; последняя мало отличается от работы обычных напорных фильтров.

§ 32. Распределение воды по сооружениям

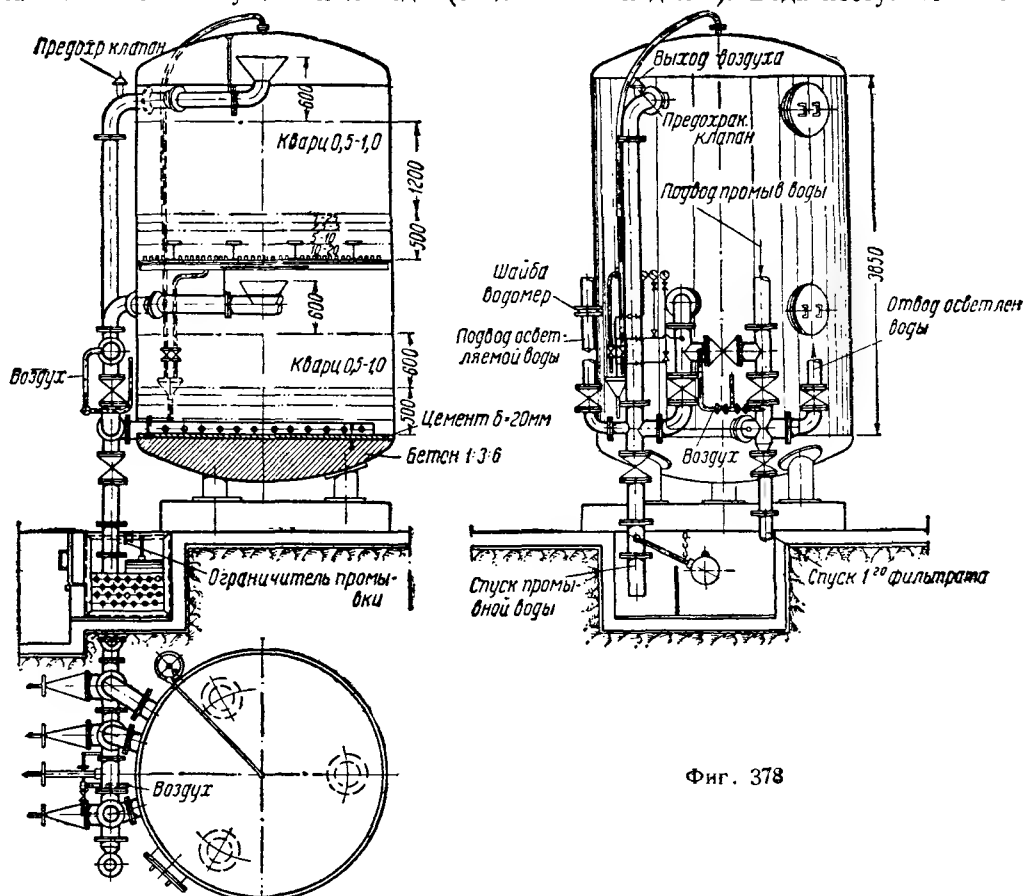
Вода, подаваемая для обработки, должна распределяться между отдельными сооружениями так, как это намечается технологическим процессом. На отстойники должно быть обеспечено поступление одинаковых количеств воды, в противном случае в одних из них время пребывания будет большим, а в других — меньшим.

На фиг. 380а и 380б представлено типовое распределительное устройство для равномерного распределения воды на два и более сооружений.

Вода поступает в центральную камеру, переливается в круговой переливной жолоб и далее в одинаковом количестве отводится к сооружениям.

На фиг. 381 представлен иной тип распределительного устройства, также в некоторой мере обеспечивающий одинаковое поступление воды на сооружения.

На фиг. 381а показан тип устройства, несколько сходного с распределителями в системах умягчения воды (описываемыми далее). Вода поступает в го-



Фиг. 378

ловную часть устройства, проходит успокоительную камеру, переливается через неподвижный водослив и далее отводится в одинаковых количествах к нескольким сооружениям.

На фиг. 382 и 383 показано возможное распределение воды на двух, четырех и восьми квадратных отстойниках с камерами реакции в них; при выключении одного из отстойников равномерность подачи нарушится.

На фиг. 384—то же на восьми отстойниках с общей камерой реакции в центре (затвора для выключения каждого из отстойников не показаны).

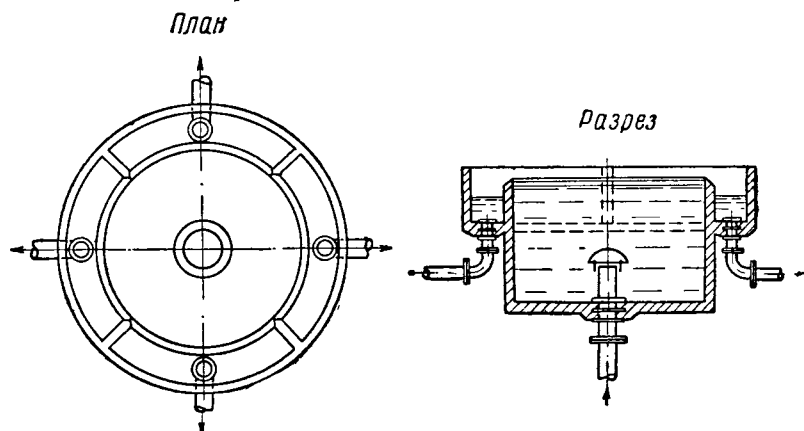
Лучшим решением в смысле равномерности распределения при различных компоновках являются распределители с числом отверстий, равным числу отстойников, с тем, что от каждого отверстия отдельный трубопровод ведет воду на один из отстойников.

§ 33. Проектная мощность станции и данные для расчета

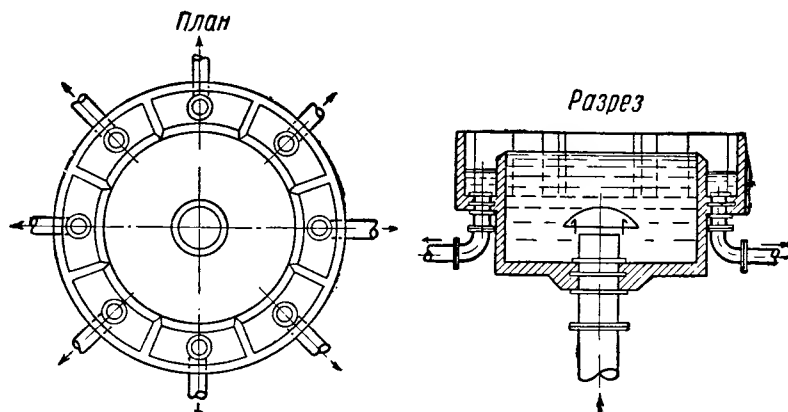
Сооружения для обработки воды в количестве примерно менее 2 000 м³ в сутки могут рассчитываться на круглосуточную работу (23 часа) и на работу в течение 16 или 8 час. Сооружения для обработки свыше 2 000 м³ воды

в сутки обычно рассчитываются на круглосуточную (23-часовую) работу. Вообще круглосуточная работа сооружений по обработке воды предпочтительней, но следует иметь в виду, что проектом технических условий проектирования железных дорог предусматривается работа насосных станций в пределах 23 час., работа же станции обработки воды связана с работой насосной станции первого подъема.

Расчетная производительность станции определяется с обязательным учетом количества воды, идущей на собственные нужды: промывку фильтров, отстойников и пр., приготовление растворов коагулянта, извести и хозяйственно-бытовые потребности станции.



Фиг. 380а



Фиг. 380б

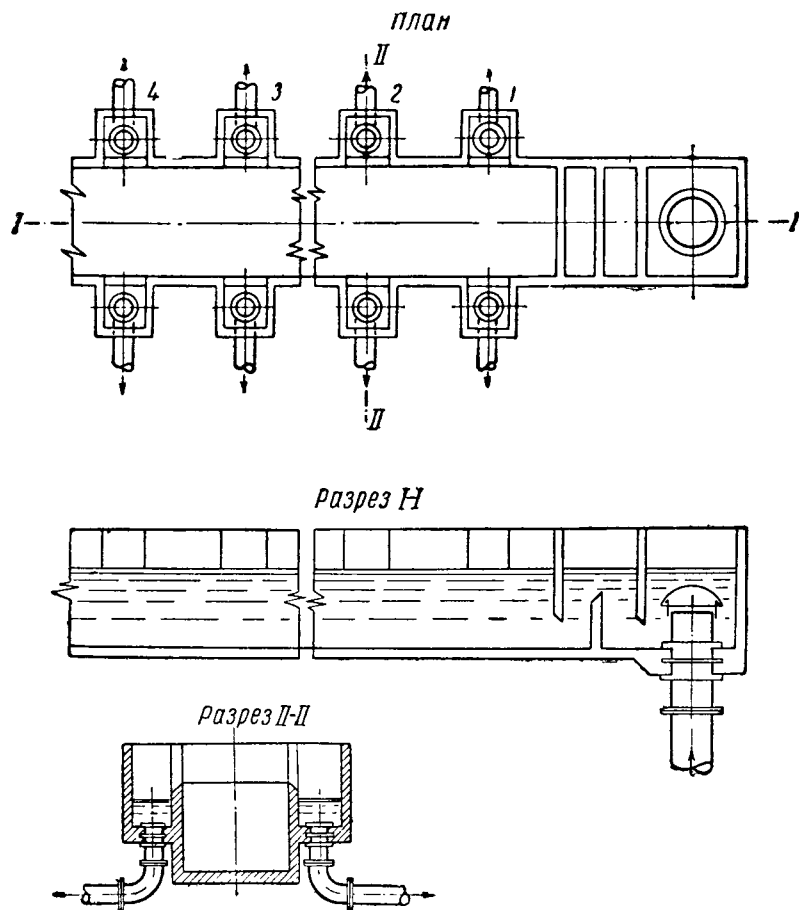
Расход воды m на собственные нужды зависит от конструкции фильтров, от того или иного решения вопроса использования промывной воды и может быть принят до 10% для небольших станций обработки питьевой воды на жел.-дор. транспорте и до 8% для более крупных станций с отклонениями в зависимости от местных условий.

Таким образом, если Q — потребный суточный расход, то расчетная производительность станции

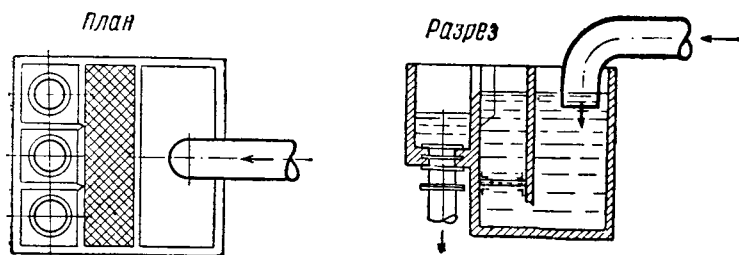
$$Q_1 = \frac{Q(100 + m)}{100}.$$

При круглосуточной работе станции расчетная часовая производительность $\frac{Q_1}{24}$, при некруглосуточной — $\frac{Q_1}{a}$, где a — число часов работы станции обработки воды в сутки.

Площадь фильтров определяется по полезно отдаваемому потребителям часовому расходу, равному $\frac{Q}{24}$ или $\frac{Q}{a}$ в том случае, если станция работает не 24, а a час. в сутки



Фиг. 381



Фиг. 381а

Расчетом должно быть учтено, что период действия фильтров включает период регенерации — промывки, в течение которого имеет место простой фильтра.

Пусть T — период действия фильтров в часах;

t — простой, связанный с промывкой и всеми сопутствующими операциями в течение одного периода действия в часах;

v —расчетная скорость фильтрации в м/ч^1 ;

w —интенсивность промывки в $\frac{\text{л/м}^2}{\text{сек}}$;

t_1 — продолжительность промывки в часах;

F — площадь фильтров в м^2 .

Производительность фильтров в час:

Fv куб. метров.

Производительность фильтров за период действия:

$Fv (T-t)$ куб. метров.

Потери воды на промывку за период действия

$$\frac{FWt_1 \cdot 3600}{1000} \text{ м}^3 = 3,6 FWt_1 \text{ куб. метр.}$$

Таким образом,

$$\frac{QT}{24} = Fv (T-t) - 3,6 FWt_1,$$

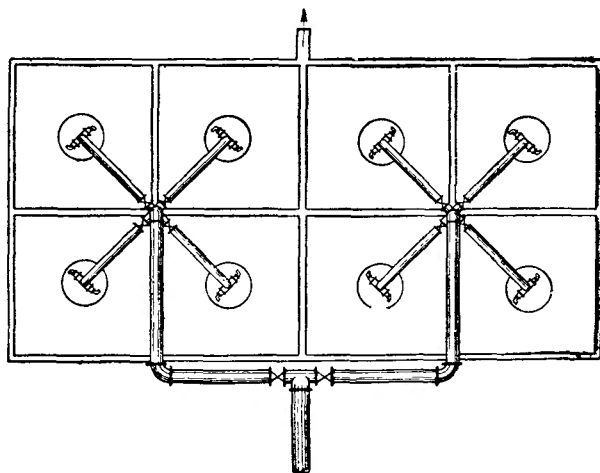
откуда расчетная площадь фильтров:

$$F = \frac{\frac{QT}{24}}{v(T-t) - 3,6 Wt_1} = \frac{QT}{24v(T-t) - 86,4 Wt_1}.$$

О численных значениях величин T , t и t_1 было сказано выше. Наименьшее значение T — 12 час.; обычно T значительно больше. Наибольшее значение t — 15 мин., или 0,25 часа (для безмешалочных фильтров может быть принято 0,17 часа).

Наибольшее значение t_1 для фильтров с мешалками 10 мин., или 0,17 часа (для безмешалочных фильтров 5 мин., или 0,085 часа).

Определив площадь фильтров, принимают окончательное их число. Следует отметить, что расчет не является точным, так как уже сказано,



Фиг. 383

¹ v определяется в зависимости от числа фильтров, поэтому, представив себе примерное значение F , намечают и число фильтров n .

что расход воды на собственные нужды кроме основного расхода на промывку фильтров складывается еще из ряда отдельных расходов; не учтен также спуск первого фильтрата и т. д. (при использовании первого фильтрата или при отсутствии сброса первого фильтрата точность формулы повышается). Кроме того, период T представляется несколько неопределенным; в расчете следует принимать минимальное его значение для предполагающих условий работы фильтров.

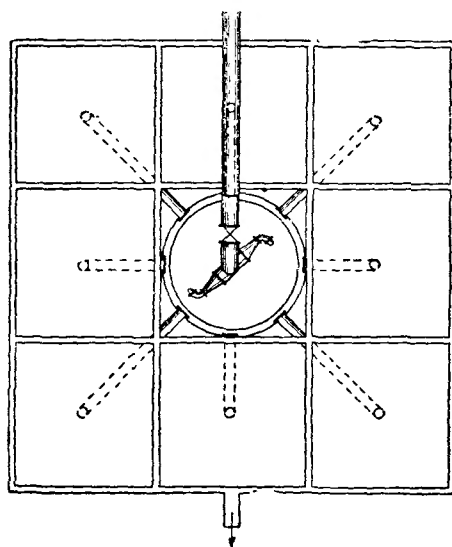
Выбирая конструкцию фильтров, следует иметь в виду, что фильтры до 10 м^2 целесообразнее принимать круглыми в плане. Фильтры площадью около 15 м^2 должны быть выбраны после тщательного сравнения ряда конструкций. Фильтры площадью около 20 м^2 целесообразно принимать железобетонными квадратными в плане, но в отдельных случаях в связи с местными условиями могут быть выбраны металлические круглые в плане. Фильтры площадью более $20 - 22 \text{ м}^2$ — железобетонные прямоугольные.

Расчетная скорость фильтрации. Значения скоростей фильтрации указаны выше. Они могут быть приняты для безмешалочных фильтров до 6 м в зависимости от качества обрабатываемой воды, предварительной ее обработки и т. д. В практике США при обработке питьевой воды встречаются значительно большие скорости. Опыты работы с повышенными скоростями на московском водопроводе также дали положительные результаты. Расчетная скорость фильтрации, вообще говоря, могла бы быть намечена, исходя из следующих режимов: 1) принимается запасный фильтр, включаемый в работу при промывке фильтров; 2) ввиду необходимости промывки фильтров при расчете соответственно увеличивается площадь фильтров; 3) принимается более форсированная работа фильтров, т. е. с повышенной скоростью фильтрации при очередном выключении фильтра для промывки.

Наличие запасного резервуара может несколько выравнивать расход без перегрузки фильтра во время промывки. Между первым и вторым режимами принципиальной разницы нет, а соображения, изложенные в п. 2, учтены при определении площади фильтров, т. е. этому режиму отдается предпочтение. Следует, однако, иметь в виду, что фильтр может быть изредка выключен из работы на длительный период времени (прогрессирующее загрязнение песка и необходимость его промывки, догрузка песка, сдвиг гравия, провал песка и связанная с этим выгрузка и загрузка фильтра, ремонт дренажа и т. д.); в это время остальные фильтры должны работать с некоторой перегрузкой, тем большей, чем меньше фильтров на станции, при этом работающие фильтры должны обеспечивать воду удовлетворительного качества.

Согласно последним опытам скорые безмешалочные фильтры при правильно поставленной эксплуатации могут удовлетворительно фильтровать воду, даже при скорости в 7 м/ч , поэтому величину расчетной скорости фильтрации можно определить из уравнения $(n - 1) 7 = nv$ (см. таблицу).

В тех случаях, когда предварительно обработанная вода, поступающая на фильтры, содержит трудно удаляемую мелкую взвесь и коллоиды (при удовлетворительном коагулировании и



Фиг. 384

Число фильтров	Расчетная скорость фильтрации в м/ч
2	3,50
3	4,67
4	5,25
5	5,60
6 и более	6,00

отстаивании), когда свойства воды или иные обстоятельства не дают уверенности в получении хорошего предварительного эффекта осаждения, предельную расчетную скорость фильтрации не следует принимать выше 5 м/ч.

ГЛАВА IV

ОБРАБОТКА ВОДЫ ХЛОРОМ

§ 34. Общие сведения

Внешняя чистота воды после фильтрации еще не гарантирует совершенного отсутствия бактерий, так как таковые могут находиться даже в кристально прозрачной воде, и наоборот, нефилтрованную воду можно сделать свободной от бактерий.

Фильтрация воды приводит к понижению числа бактерий, но не к полному их уничтожению; после фильтров в воде остается незначительное количество бактерий.

При дезинфекции воды все болезнетворные бактерии как наименее стойкие умерщвляются. Дезинфекция воды ультрафиолетовыми лучами и озоном, применявшаяся в ряде случаев ранее, не получила распространения из-за значительной начальной стоимости соответствующих устройств и из-за больших эксплуатационных расходов (озонирование). В СССР эти установки вовсе не встречаются.

35 лет назад были сделаны попытки найти более дешевые способы обеззараживания воды, чем дезинфекция озоном и ультрафиолетовыми лучами, причем вещества, идущие для обработки воды, должны были быть совершенно безвредными (в употребляемых дозах) и не давать запаха и привкуса. Наиболее подходящей для этой цели оказалась хлорная известь. Совершенно избавиться от привкуса хлора не всегда удавалось, и он нередко давал себя чувствовать, в особенности зимой, когда при низкой температуре воды действие хлорной извести замедлялось, а для более уверенной реакции приходилось добавлять большие дозы.

Простота и дешевизна установок для хлорирования воды хлорной известью привели к широкому их распространению. Поиски лучшего способа дезинфекции привели к использованию хлорного газа (в США с 1912 г.).

В СССР в настоящее время почти нет городских водопроводов, где не осуществлялось бы хлорирование воды.

Вода для удовлетворения питьевых нужд на жел.-дор. транспорте хлорируется в целом ряде случаев. Однако при том исключительном внимании, какое в нашей стране уделяется здоровью трудящихся, хлорирование воды должно занять здесь несравненно большее место.

§ 35. Хлорирование воды хлорной известью

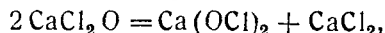
Хлорная известь CaCl_2O или $\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot \text{CaCl}_2$ получается на специальных заводах при действии хлорного газа на гашеную известь.

При введении хлорной извести в воду идет реакция распада последней с образованием хлорноватистой кислоты

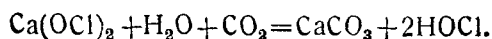


Реакция может идти и по иной схеме.

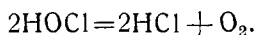
При введении хлорной извести в воду происходит ее разложение на гипохлорит кальция и хлористый кальций



а далее гипохлорит вступает в реакцию, например, с содержащейся в воде углекислотой с образованием хлорноватистой кислоты



Дальнейшее разложение хлорноватистой кислоты в воде приводит к освобождению кислорода:



Соляная кислота вступает в реакцию с бикарбонатами и приводит, например, к образованию CaCl_2 , а освобождающемуся кислороду — энергичному окислителю приписываются обесцвечивание, окисление органических веществ и умерщвление бактерий. Таким образом, хлорирование является окислительным процессом и основная работа производится кислородом, освобождающимся из хлорноватистой кислоты. Промежуточные реакции несколько замедляют действие хлорной извести по сравнению с газообразным хлором.

Помимо принятой гипотезы образования и действия кислорода ранее высказывалась и другая гипотеза, по которой дезинфицирующее действие обусловлено хлором и его производными. В зависимости от природы минеральных и органических веществ в воде в последней при введении растворов хлорной извести могут происходить различные реакции окисления.

Так как под влиянием тепла, света и влаги происходит разложение хлорной извести с дальнейшим уменьшением содержания активного хлора, то ее следует хранить в прохладном, сухом, темном и хорошо вентилируемом складе, а при применении предварительно определять содержание в ней активного хлора. Дозы хлора при хлорировании фильтрованной воды или воды подземных источников следует принимать примерно до 0,5 мг/л, при хлорировании нефильтрованной воды — до 1 — 2 мг/л, а иногда и больше в зависимости от наличия в воде органических и гуминовых веществ.

Хлорирование хлорной известью было в СССР весьма распространено до 1927 — 1928 гг.; с этого времени начинает внедряться хлорирование газообразным хлором.

Устройства для заготовки и дозирования растворов хлорной извести мало отличаются от обычных простых устройств для растворения реагентов. В верхний затворный бачок засыпается потребное количество хлорной извести для растворения с водой; в одном из двух рабочих баков готовится раствор и ему дают отстояться, а в это время работает другой бак. При отстаивании раствора на дне бака осаждается нерастворимая составная часть хлорной извести. Дозирующий бачок не отличается от ранее рассмотренных. Емкость баков для приготовления рабочих растворов определяется аналогично емкости баков для извести или коагулянта по формуле:

$$W_p = \frac{q \cdot a \cdot 24 \cdot 100 \cdot 100}{1\,000 \cdot 1\,000 \cdot n \cdot b \cdot c},$$

где q — количество дезинфицируемой воды в $\text{м}^3/\text{ч}$;
 a — максимальная доза активного хлора в $\text{мг}/\text{л}$;
 b — крепость раствора в процентах (до 2%);
 c — содержание в хлорной извести активного хлора в процентах (до 30 — 35%);
 n — число растворов в сутки.

Баки деревянные с цементной штукатуркой или железобетонные.

Хлорная известь получается с заводов в бочках или пакетах.

При значительной производительности станции растворение хлорной извести представляет большие неудобства, так как, будучи едким затрудняющим дыхание порошком, она затрудняет выполнение рабочими необходимых операций. Растворение в этих случаях целесообразно вести в закрытой камере, оборудованной вентиляцией. Рабочий находится вне камеры, через особое отверстие выбивает дно у бочки с хлорной известью и далее водой из брандспойта смывает ее в бак (целесообразно использовать противогаз). Способ этот на жел.-дор. транспорте может, естественно, иметь весьма ограниченное применение.

Хлорирование хлорной известью связано с необходимостью перевозки и хранения 70% мертвого груза, представляет определенные трудности в дозировании (трубы, ведущие раствор, забиваются), неудобства в гигиеническом отноше-